

Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO-rapport



Fysisch en Elektronisch
Laboratorium TNO

Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage
Oude Waalsdorperweg 63
's-Gravenhage

Telefax 070 - 328 09 61
Telefoon 070 - 326 42 21

rapport no.

exemplaar no.

FEL-91-A161

titel

2

Opbouw en werking van een multifunctie
CO₂-laserradarsysteem

D
91-2909
6087-1

AD-A245 425



Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
vooraanstaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
terzake tussen partijen gesloten
overeenkomst.

© TNO

TDCK RAPPORTENCENTRALE
Frederikkazerne, Geb. 140
van den Burchlaan 31
Telefoon: 070-3166394/6395
Telefax : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag
TDCK

auteur(s):

Drs. R.J.L. Lerou

Ir. P.H.C. Bentvelsen

datum :

september 1991

DTIC
S ELECTE
FEB 05 1992
D

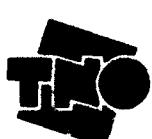
rubricering

titel	: ongerubriceerd
samenvatting	: ongerubriceerd
rapporttekst	: ongerubriceerd
bijlage A t/m D	: ongerubriceerd

opslag	: 22
aantal bladzijden	: 60 (incl. bijlagen, excl. RDP & distributielijst)
aantal bijlagen	: 4

This document has been approved
for public release and sale; its
distribution is unlimited.

92 2 04 049



92-02898
1111111111

rapport no. : FEL-91-A161
 titel : Opbouw en werking van een multifunctie CO₂-laserradarsysteem
 auteur(s) : Drs. R.J.L. Lerou, Ir. P.H.C. Bentvelsen
 Instituut : Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO
 datum : september 1991
 hdo-opdr.no. : A87KL158
 no. in lwp '91 :
 Onderzoek uitgevoerd o.l.v. : Drs. R.J.L. Lerou
 Onderzoek uitgevoerd door : Drs. R.J.L. Lerou, Ir. P.H.C. Bentvelsen

SAMENVATTING (ONGERUBRICEERD)

In dit rapport wordt een multifunctioneel laserradarsysteem beschreven dat geschikt is voor het meten van afstanden en snelheden, beeldvorming en detectie van trillingen van doelen. Het systeem is voorzien van een continue CO₂-waveguidelaser. Er wordt optische heterodyne detectie toegepast.

Een aantal met het laserradarsysteem verkregen meetresultaten met betrekking tot afstand-, snelheids- en vibratiemetingen is in dit rapport weergegeven.

De laserbundel wordt gemoduleerd in de frequentieband 90 - 110 MHz door middel van een Mullard AOM 100A akoesto-optische modulator. De eigenschappen van deze modulator zijn bepaald.

Er is een integrator gebouwd en getest waarmee de ontvangen signalen bemonsterd en gesommeerd kunnen worden. De maximale bemonsterfrequentie bedraagt 42 MHz (8 bit ADC). De toename in signaal-ruisverhouding van het gesommeerde signaal als functie van het aantal sommaties is bepaald.

De voor de opstelling ontworpen en gebouwde zender/ontvanger, inclusief de besturingssoftware, worden eveneens in het kort besproken.



Accesion For	
NTIS	CRA&I <input checked="" type="checkbox"/>
DTIC	TAB <input type="checkbox"/>
Unannounced <input type="checkbox"/>	
Justification _____	
By _____	
Distribution / _____	
Availability Codes	
Dist	Avail and / or Special
A - 1	

report no. : FEL-91-A161
title : Construction and function of a multifunction CO₂-laser system

author(s) : R.J.L. Lerou, P.H.C. Bentvelsen
institute : TNO Physics and Electronics Laboratory

date : September 1991
NDRO no. : A87KL158
no. in pow '91 :

Research supervised by: R.J.L. Lerou
Research carried out by: R.J.L. Lerou, P.H.C. Bentvelsen

ABSTRACT (UNCLASSIFIED)

A description is given of a multifunction laser system designed for applications such as range- and velocity measurements, vibration detection and active imaging. The system is based on a wave guide CO₂-laser operating in a continuous mode. The received radiation is detected by an optical heterodyne detection technique.

Examples of the results of range-, velocity- and vibration measurements with the laser system are shown and discussed.

The laser beam is modulated with an Mullard 100A acousto-optical modulator in a frequency band of 90-110 MHz. The properties of this modulator has been determined.

A digital integrator, designed and built for periodic and synchronous signals is described. It is designed to integrate a large number of periods and is capable of sampling at a frequency of 42 MHz, with digital conversion to 8 bit. The increase of the Signal to Noise Ratio with the number of integrations is described.

The specially designed electronic transmitter/receiver unit of the system and a waveform recorder, including control software, is briefly discussed.

SAMENVATTING	2
ABSTRACT	3
INHOUDSOPGAVE	4
1 INLEIDING	6
2 DE HETERODYNE CO ₂ -LASERRADAR	7
2.1 Het optische gedeelte	7
2.2 De besturing en gegevensverwerking	8
3 DE AKOESTO-OPTISCHE MODULATOR	9
3.1 Principe	9
3.2 De modulator	10
3.3 De RF-versterker	13
3.4 De modulatorhouder	15
3.5 Metingen aan de AOM-100A	16
3.6 Conclusies	19
4 DE INTEGRATOR	20
4.1 Principe	20
4.2 Werking	22
4.3 Metingen	25
5 DE ZENDER/ONTVANGER	26
5.1 Afstand- en snelheidsmetingen	26
5.2 Vibratiedetectie	28
6 DE LECROY WAVEFORMRECORDER	30
6.1 Beschrijving	30
6.2 Besturing via de GPIB-interfacebus	31
6.3 Het besturingsprogramma	32

7	METINGEN	33
7.1	Afstand- en snelheidsmetingen	33
7.2	Vibratiedetectie	36
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	38
9	LITERATUUR	39

APPENDIX A: SPIEGELMANIPULATIES**APPENDIX B: GEGEVENS VAN DE INTEGRATOR****APPENDIX C: RESOLVING RANGE AMBIGUITY WITH A RESIDUE CALCULUS
METHOD****APPENDIX D: BESTURINGSPROGRAMMA VOOR DE LECROY WAVEFORMRECORDER**

1

INLEIDING

Op CO₂-lasers gebaseerde laserradarsystemen hebben als potentiële toepassingen het meten van afstanden, snelheden, beeldvorming voor het detecteren van obstakels (zoals electriciteitsdraden) vanuit helikopters en vliegtuigen en de detectie van trillingen van doelen. De laatstgenoemde toepassing is van belang in verband met herkenning van gemotoriseerde doelen.

Voor het onderzoek naar de technische haalbaarheid van systemen voor dergelijke toepassingen is een multifunctioneel laserradarssysteem ontworpen en gebouwd. Dit systeem gaat uit van een continue CO₂-waveguidelaser (golflengte 10,6 μm). Een systeem met één continue laser heeft ten opzichte van een pulslaser de voordelen van een groter gemiddeld vermogen en moduleerbaarheid met willekeurige signalen. Er is daarmee een compacte opstelling met veelzijdige toepassingsmogelijkheden gebouwd. Heterodyne detectie speelt daarbij een essentiële rol. De opbouw van het systeem wordt behandeld in hoofdstuk 2.

De continue laserbundel kan in amplitude en in frequentie gemoduleerd worden door een akoestooptische modulator (zie hoofdstuk 3). Een klein deel van het laservermogen wordt gebruikt als lokale oscillator voor heterodyne detectie.

Om de signaal-ruisverhouding van afstand- en snelheidsmetingen te verbeteren kan in de gerealiseerde opstelling een groot aantal metingen gesommeerd worden door middel van een digitale integrator (hoofdstuk 4).

De zend- en ontvangenheid wordt beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt de LeCroy waveformrecorder beschreven die gebruikt zal worden voor signaalopslag bij vibratiedetectie-experimenten. Verschillende metingen met het laserradarssysteem zijn opgenomen in hoofdstuk 7.

2

DE HETERODYNE CO₂-LASERRADAR

2.1

Het optische gedeelte

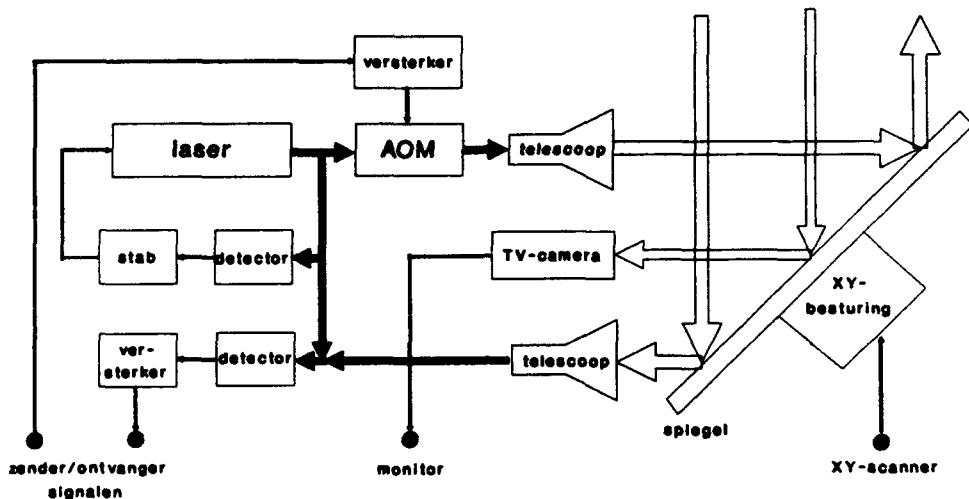


Fig. 2.1: Het optische gedeelte van het laserradar systeem.

In figuur 2.1. is het optische gedeelte van het laserradar systeem weergegeven. De watergekoelde CO₂-waveguidelaser heeft een optisch uitgangsvermogen van ca. 4,5 Watt. De bundel is verticaal gepolariseerd en heeft een divergentie van ca. 9 mrad. De 1/e²-diameter is aan de uitgang van de laser 1,3 mm.

Een deelspiegel zorgt ervoor dat ongeveer 73% van het laservermogen naar de akoesto-optische modulator (AOM) gaat. De AOM is eveneens watergekoeld en kan met een RF-signalen bedreven worden in de frequentieband 90 - 110 MHz. Het rendement van de modulator is ongeveer 30%, zodat het continue vermogen aan de uitgang van de AOM ongeveer 1 Watt bedraagt.

Om de divergentie tienmaal kleiner te maken wordt de bundeldiameter door een telescoop met een zelfde factor vergroot. Een met 100 MHz gemoduleerde bundel gaat langs de optische as door de telescoop. Modulatie met frequenties groter of kleiner dan 100 MHz heeft tot gevolg dat de bundel onder resp. boven (maar wel parallel aan) de optische as de telescoop verlaat. De telescoop heeft een daaraan aangepaste vorm. De zendbundel verlaat de opstelling via een met stappenmotoren bestuurbare spiegel. De TV-camera is parallel uitgericht zodat het doel waarop de bundel gericht is op een monitor zichtbaar gemaakt kan worden.

Van de resterende 27% van het laservermogen wordt de helft gebruikt voor stabilisatie van de laser, terwijl een gering deel van de andere helft als locale oscillator op de detector gefocusseerd wordt om heterodyne detectie te verkrijgen.

De aan een doel gereflecteerde bundel wordt via een telescoop en een lens op een stikstofgekoelde HgCdTe-detector gefocusseerd. Het RF-detectorsignaal wordt versterkt en daarna door de zender/ontvanger verwerkt.

2.2 De besturing en gegevensverwerking

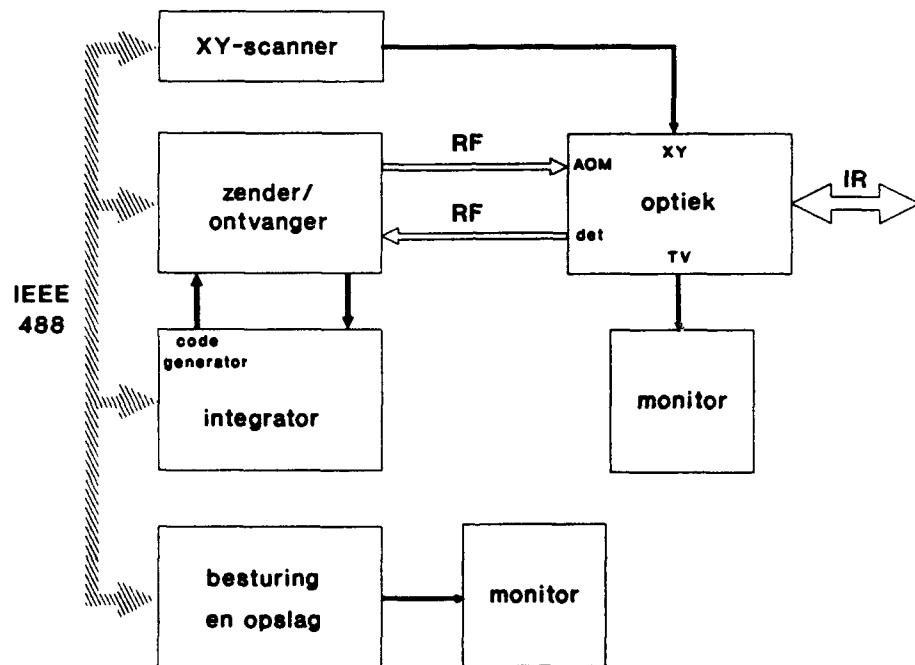


Fig. 2.2: Het laserradarysteem

In figuur 2.2. is het laserradarysteem schematisch weergegeven. De basis voor de besturing wordt gevormd door een HP-9000/220 computer die door middel van een IEEE-488 interfacebus is verbonden met de andere apparatuur. Via deze bus wordt de apparatuur ingesteld en de meetwaarden uitgelezen. Door middel van de XY-scanner kan de spiegel vanuit de computer of handmatig bestuurd worden. Bij afstand- en snelheidsmetingen produceert de integrator een AM-modulatie- of FM-triggercode welke door de zender/ontvanger omgezet wordt in een RF-stuursignaal voor de AOM-versterker. Het teruggevangen detectorsignaal wordt door de zender/ontvanger verwerkt tot een voor de integrator geschikt signaal.

3

DE AKOESTO-OPTISCHE MODULATOR

3.1

Principe

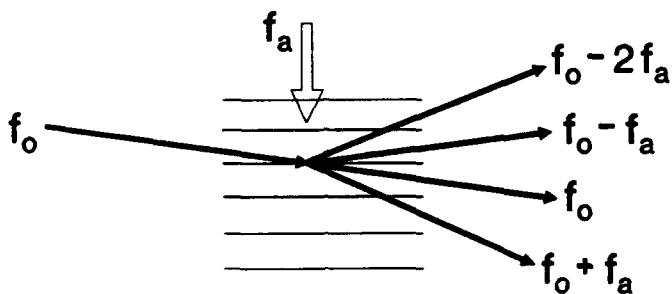


Fig. 3.1 Raman-Nath-diffractie. f_o en f_a zijn resp. de optische en akoestische frequenties.

Het akoesto-optische effect is een diffractieverschijnsel. De afbuiging kan beschreven worden (zie Korpel [2]) door een longitudinale akoestische golf in een kristalrooster te beschouwen als een lopend tralie van dichtheidsvariaties. Een monochrome optische bundel met golflengte λ die in het kristal ongeveer evenwijdig loopt aan de akoestische golffronten vertoont een diffractiepatroon en frequentieverhuizingen zoals weergegeven in figuur 3.1. Dit effect staat bekend als Raman-Nath-diffractie. Voor voldoende grote interactielengten (d.w.z. lange akoestische golffronten) kunnen de bundels destructief interfereren.

In dat geval kan Bragg-reflectie optreden. Hierbij is sprake van slechts één afgebogen bundel. Bragg-reflectie treedt op onder de voorwaarde dat de optische bundel onder een hoek θ_B met de akoestische golffronten invalt (zie figuur 3.2.), waarbij θ_B voldoet aan de relatie

$$\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\Lambda} \quad (3.1)$$

Hierin is Λ de akoestische golflengte.

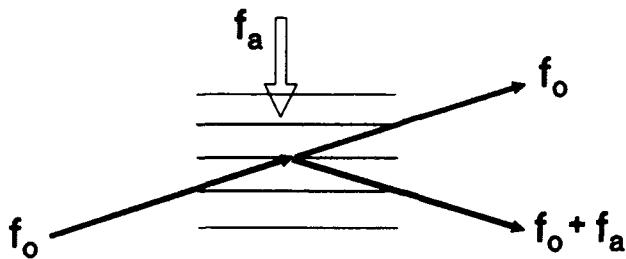


Fig. 3.2: Bragg-reflectie.

De frequentieverschuiving van de optische bundel is gelijk aan de akoestische frequentie. Het is daarom mogelijk om met de akoestische golf de laserbundel zowel in amplitude als in frequentie te moduleren.

3.2 De modulator

Om de $10,6 \mu\text{m}$ laserbundel te moduleren is een Mullard AOM-100A modulator in gebruik genomen. Deze bestaat naast een akoestische transducent en een interactiemedium uit een behuizing, in- en uitreellenzen en een koelwatervoorziening.

Een belangrijke parameter van een modulator is het afbuigrendement γ , dat gedefineerd is als de verhouding van de vermogens van de afgebogen- en de invallende bundel.

Voor een zo gunstig mogelijk rendement heeft de fabrikant gekozen voor een medium van n-type monokristallijn germanium (zie Fox [1]). De akoestische golf loopt in de [111]-richting, de polarisatie van de laserbundel is in dezelfde richting. De afmetingen van het germaniumblok zijn $20 \times 15 \times 5 \text{ mm}$. De zijden waar de laserbundel in- en uitreedt (zie figuur 3.3) zijn voorzien van een ZnS-antireflectielaaag met een dikte van een kwart golflengte. Buiten deze laag zijn er geen speciale voorzieningen getroffen om optische reflecties te voorkomen.

De longitudinale akoestische golf wordt opgewekt in een piëzoelektrische transducent van LiNbO_3 . Het bruikbare frequentiegebied is $90 - 110 \text{ MHz}$. Het werkgebied is verkregen door het polijsten van de transducent tot een dikte van $35 \mu\text{m}$ (een halve akoestische golflengte). Het lithiumniobiaat is onder druk met een indium tussenlaag aan het germanium verbonden. De tegenover de transducent liggende zijde van het germaniumblok is schuin afgeslepen en voorzien van een absorberende laag indium om akoestische reflecties te beperken. De vrije zijden van het kristal zijn in een metalen houder geklemd om het thermisch contact met het koelwater zo groot mogelijk te maken.

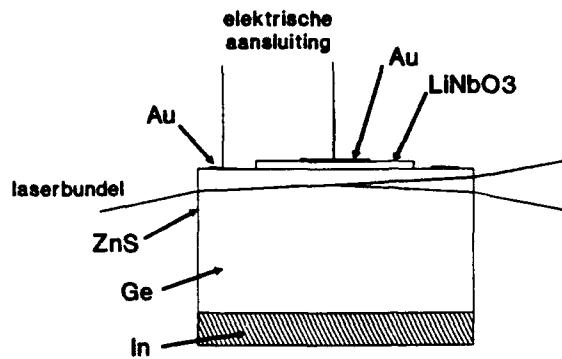


Fig. 3.3: Het Bragg-medium en de transducent.

Op de transducent zijn drie goudelektroden van $4 \times 0,3$ mm aangebracht, waarvan er een aangesloten is. Er zijn dus twee reserve-exemplaren. De impedantie van de transducent en het medium gedraagt zich deels capacitief en deels Ohms (zie figuur 3.4). Om bij 100 MHz een ingangsimpedantie van 50Ω te krijgen heeft de fabrikant ervoor gekozen de transducent (cq. de elektrode) zo te dimensioneren dat de reële impedantie 50Ω is; het imaginaire gedeelte wordt door middel van een serie-zelfinductie gecompenseerd.

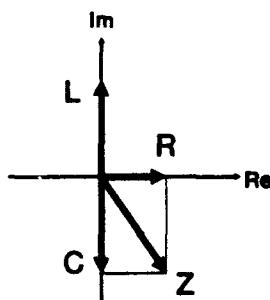


Fig. 3.4: De impedantie Z van de modulator bestaat uit een capaciteit C en een weerstand R . L is de compenserende zelfinductie.

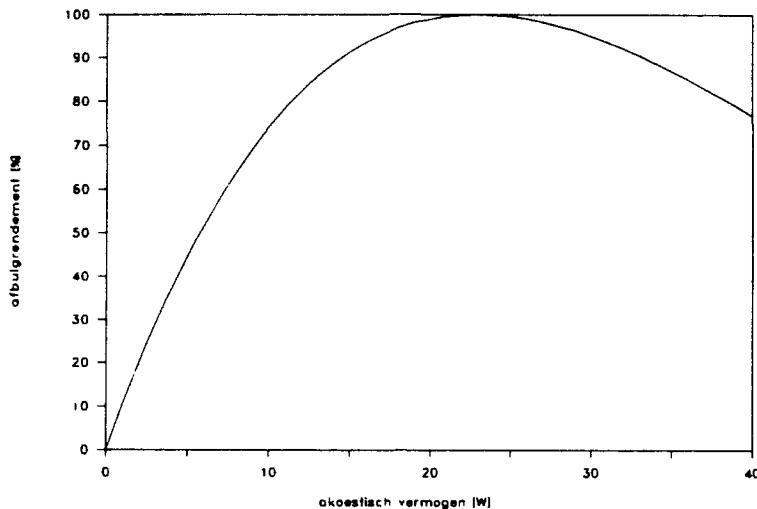


Fig. 3.5: Het afbuigrendement van de AOM-100A volgens (3.2).

De invallende laserbundel moet Gaussisch zijn en een diameter hebben van ca. 2 mm, bij een maximaal vermogen van 5 Watt. De door Mullard ingestelde intreelens focuseert deze bundel in het germanium tot een diameter van ca. 200 μm . De bundel valt ongeveer 4,5 mm verschoven ten opzichte van het centrum van de lens in. Door de bundel parallel aan de optische as in radiale richting te verschuiven verandert wel de hoek van inval op het kristal, maar niet de positie van het focus. De uitreelens is instelbaar en zorgt voor een parallelle uitreebundel.

Bij een gegeven vermogen P_a van de akoestische golf in het germanium-kristal is het rendement η_{Bragg} van de Braggreflectie van deze modulator (zie Chang [3]):

$$\eta_{\text{Bragg}} = \sin^2 \left(\frac{\pi^2}{2\lambda^2 \cos^2 \theta_B} \cdot \frac{L}{H} \cdot M_2 \cdot P_a \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

Hierin zijn L en H: de lengte en de breedte van de elektrode; M_2 : een materiaalconstante ($1,8 \cdot 10^{-13} \text{ s}^3/\text{kg}$).

Theoretisch kan $\eta_{\text{Bragg}} = 1$ zijn voor een bepaalde waarde van P_a . In figuur 3.5 is het afbuigrendement volgens (3.2) te zien als functie van het akoestisch vermogen. In de praktijk kan het rendement alleen gemeten worden als functie van het elektrisch vermogen. Het Braggrendement geldt voor het afbuigproces in het germaniumblok. Er treden echter optische verliezen

op in het germaniumkristal, aan de in- en uitreezijde van het kristal en aan de in- en uitreelens van de modulator. Gezamenlijk zorgen deze voor een verliesfactor γ_{opt} zodat het rendement η van de gehele modulator te schrijven is als:

$$\eta = \eta_{opt} \cdot \eta_{bragg} \quad (3.3)$$

Vanwege de in Fox [1] gegeven definities lijkt de veronderstelling gerechtvaardigd dat Mullard η_{bragg} gebruikt (in plaats van het meer voor de hand liggende η) om het modulatorrendement te specificeren. Het Braggrendement van een los modulatorblok (d.w.z. zonder behuizing) kan direct bepaald worden door niet het vermogen van de invallende bundel als referentie te nemen maar het vermogen van de doorgaande bundel in het geval dat de RF-spanning niet aangesloten is. Het door Mullard gespecificeerde maximale rendement η_{bragg} voor het hier beschouwde exemplaar bedraagt 65% bij een elektrisch ingangsvermogen van 20 W. Het totale rendement η wordt niet in de specificaties genoemd. Wel geeft Fox een indicatie van de optische verliezen. De transmissie van een dergelijk germaniumblok, mits voorzien van een antireflectielaaag kan beter zijn dan 90%. Indien de transmissie per lens 95% zou zijn komt het optische rendement op 81%.

3.3 De RF-versterker

De modulator is werkzaam in het frequentiegebied tussen 90 en 110 MHz. Het maximale elektrische vermogen dat zonder schade aan de transducent aangeboden kan worden is volgens de specificatie van de fabrikant 20 Watt. Dit wordt geleverd door de bij de AOM-100A geleverde versterkereenheid PA-100A. Deze bestaat uit een Aydin MHD-178 voorversterker en een Philips BGY-33 vermogensversterker, gemonteerd in een aluminium behuizing. De behuizing dient voor de afscherming van het RF-veld van de versterker. De schematische opbouw is weergegeven in figuur 3.6.

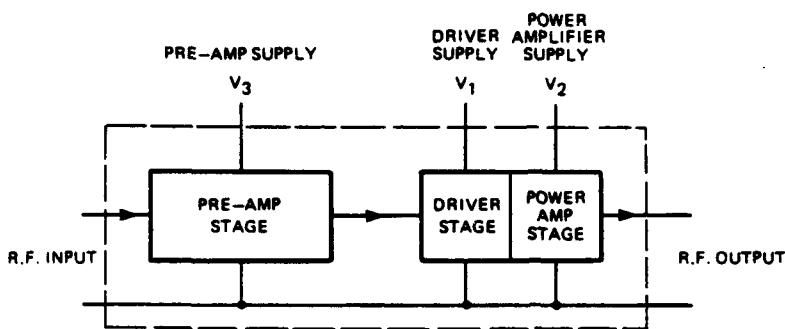


Fig. 3.6: De PA-100A versterkereenheid.

Er zijn verschillende mogelijkheden om het RF-uitgangsvermogen te regelen. Mullard adviseert (in overeenstemming met de specificaties van de BGY-33 in het Philips data handbook S6 [4]) om de spanningen V_2 en V_3 vast te kiezen, terwijl V_1 gevareerd wordt om het juiste uitgangsvermogen te krijgen. Een andere, hier gekozen mogelijkheid is de spanningen V_1 , V_2 en V_3 gelijk te maken en deze gezamenlijk te variëren.

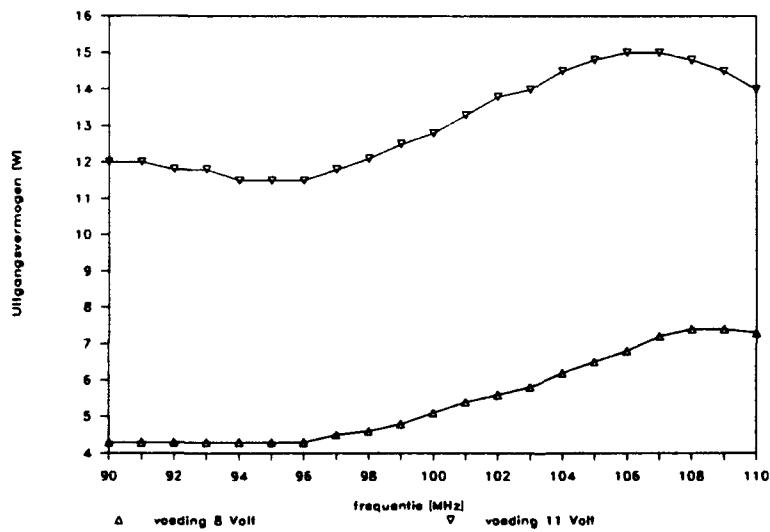


Fig. 3.7: Het uitgangsvermogen van de PA-100A als functie van de frequentie voor verschillende voedingsspanningen.

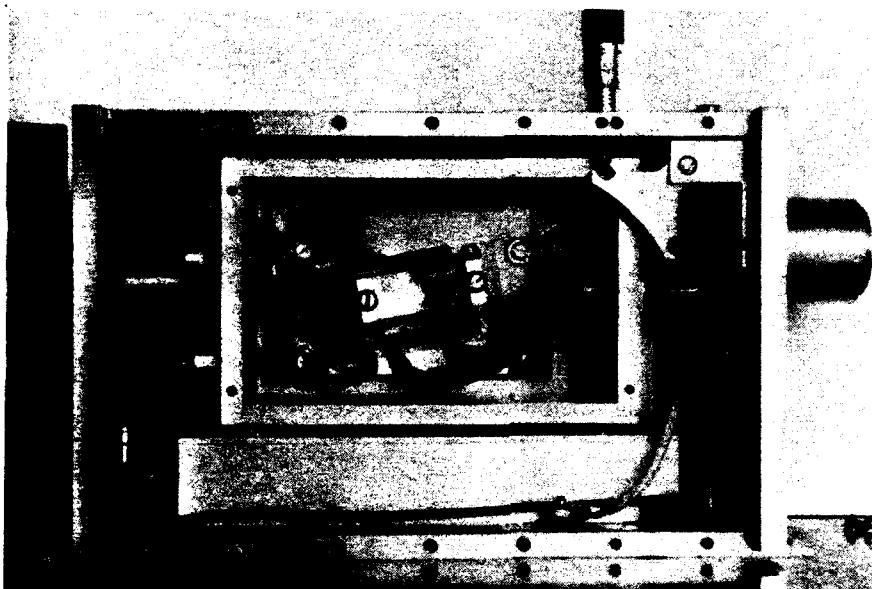


Fig. 3.8: De modulatorhouder.

Beide mogelijkheden laten een frequentieafhankelijk uitgangsvermogen zien. In figuur 3.7 is het uitgangsvermogen bij een belasting van 50Ω als functie van de frequentie uitgezet voor een RF-ingang van 0 dBm en voedingsspanningen van 8 en 11 Volt.

Om het risico van schade aan de transducent te beperken is niet met hogere spanningen gewerkt. Uit deze figuur blijkt dat het uitgangsvermogen sterk afhangt van de frequentie. Dit is ongewenst omdat daardoor ook het afbuigrendement afhankelijk wordt van de frequentie. De AOM-100A modulator heeft een frequentieafhankelijke impedantie die in het algemeen afwijkt van 50Ω . Het opgenomen elektrische vermogen is daarom lager dan het toegevoerd vermogen (er treedt reflectie op). Het gemeten verschil bedraagt $(1,0 \pm 0,5)$ Watt in het frequentiegebied 90-110 MHz.

3.4 De modulatorhouder

Om de RF-versprek van de versterker naar de detector te minimaliseren is een houder ontworpen waarin plaats is voor zowel de versterker als de modulator. De houder biedt tevens plaats aan een intreediafragma en een reproducerend instelbare uittreelens (zie figuur 3.8). Deze uittreelens vervangt de standaardlens om focussering van de uitreebündel op ca. 1 m mogelijk te maken. Bovendien is de vervangende lenshouder zo geconstrueerd dat de lens niet roteert en de instelling afleesbaar is op een micrometerschroef.

Het intreediafragma bestaat uit een buis met een inwendige diameter van 4 mm en een lengte van circa 50 mm en dient om ongewenste en mogelijk riskante bundelposities tijdens het afregelen van de modulator te voorkomen.

3.5 Metingen aan de AOM-100A

Om de prestaties van de modulator te kunnen vergelijken met de specificaties dient η_{bragg} te worden bepaald. Een complicatie bij het meten van het Braggrendement is dat de doorgaande bundel niet beschikbaar is. Deze bundel wordt gestopt door de behuizing van de modulator. Volgens (3.3) is η_{bragg} echter te berekenen uit het totale rendement van de modulator en de optische verliesfactor. Deze laatste factor werd geschat door de uittreelens te verwijderen en de intreebundel zo te manipuleren dat het vermogen van de doorgaande bundel via de uitreeopening gemeten kon worden. Tevens werd het vermogen van de invallende bundel gemeten. Om de manipulatie van de laserbundel te vereenvoudigen is de relatie tussen de bundelbewegingen en de instellingen van de micrometerschroeven van de twee intreespiegels bepaald. Deze is te vinden in bijlage A.

De aldus bepaalde transmissie bedroeg 76%. De transmissie van de uittreelens werd bepaald op ongeveer 95%, zodat het optische rendement γ_{opt} voor deze modulator gelijk is aan 72%. Dit is ongeveer 10% lager dan berekend in 3.2.

De volgende metingen zijn verricht:

- (1) Het vermogen van de afgebogen bundel bij 100 MHz voor verschillende vermogens tussen 1 en 13 Watt (het elektrische vermogen is gemeten met een Bird RF-vermogensmeter). Het hieruit berekende modulatorrendement η en het Braggrendement η_{bragg} zijn weergegeven in figuur 3.9, evenals het door Mullard opgegeven Braggrendement.
- (2) Het vermogen van de afgebogen bundel als functie van de frequentie in het gebied van 90 tot 110 MHz. Het hieruit berekende modulatorrendement is weergegeven in figuur 3.10. Het elektrisch vermogen werd geleverd door de PA-100A met voedingsspanningen $V_1=V_2=V_3=11$ Volt en een RF-ingang van 0 dBm.

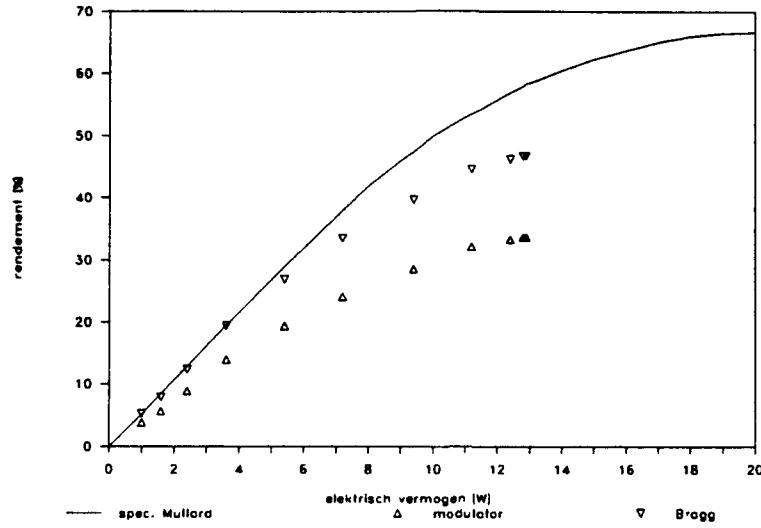


Fig. 3.9: Rendementen bij 100 MHz als functie van het elektrisch vermogen.

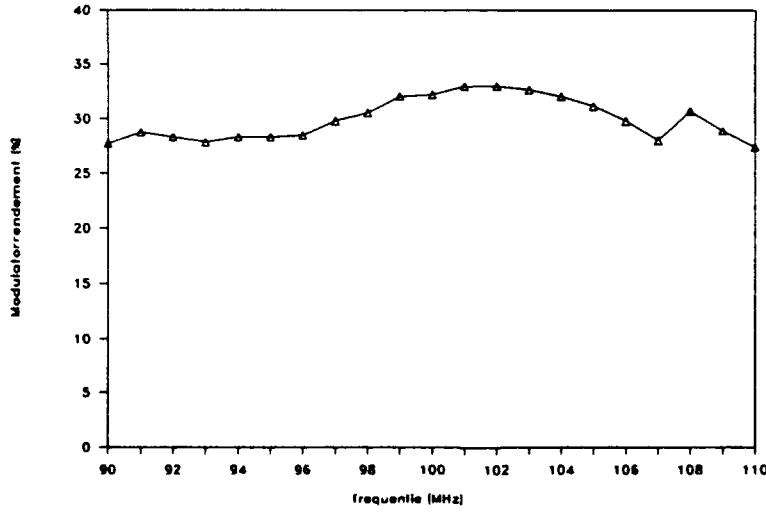


Fig. 3.10: Modulatorrendement als functie van de frequentie.

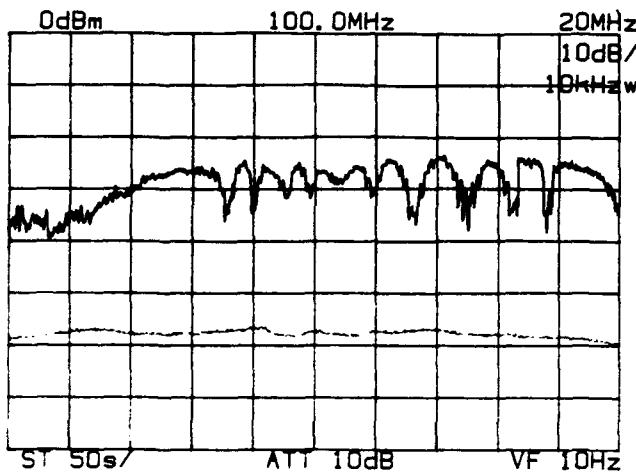


Fig. 3.11: Optische overspraak van de modulator naar de detector.

Er zijn ook metingen gedaan aan de overspraak van de modulator naar de detector. De elektromagnetische overspraak is met een spectrumanalyzer nauwelijks waarneembaar. Er is echter een aanzienlijke optische overspraak via het locale oscillatorcircuit. In figuur 3.11 representeert de onderste lijn de spectrale vermogensdichtheid tussen 90 en 110 MHz van de detector indien deze alleen belicht wordt met de locale oscillatorbundel. De bovenste lijn bevat daarbij ook nog de optische reflecties in de modulator. Deze is daarbij aangestuurd met een 90-110 MHz signaal uit de PA-100A (ca. 12,5 Watt bij 100 MHz). Het blijkt dat de optische reflectie ca. 30 dB boven de lokale oscillatorruis uitkomt. Bij afstandmetingen is dit in principe acceptabel, omdat het detectora signaal ten gevolge van de reflectie vereenkomt met een meting van een vaste afstand (van ongeveer 0 meter). Deze kan dan later in de signaalverwerking onderdrukt worden. Bij FM-demodulatie (in het geval van vibratiedetectie) vereist een 30 dB hoger stoorniveau een toename in signaalsterkte met dezelfde factor.

3.6 Conclusies

De optische transmissie in de modulator is ongeveer 10% lager dan berekend. Dit zou verklaard kunnen worden uit tamelijk hoge reflectieverliezen van de antireflectielagen op het germanium en de lenzen. Deze optische verliezen maken het noodzakelijk onderscheid te maken tussen het Braggrendement en het totale modulatorrendement. Met de veronderstelling dat Mullard η_{Bragg} gebruikt om het afbuigrendement te specificeren is het een omissie dat de optische verliezen niet in dezelfde specificaties genoemd worden.

Het gemeten Bragg-rendement wijkt enigszins af van de specificaties. Dit is te verklaren uit optische verliezen in de modulator. Het is onwaarschijnlijk dat het maximale afbuigrendement van 65% bij een elektrisch ingangsvermogen van 20 Watt door deze modulator gehaald kan worden.

Omdat de optische overspraak van de modulator naar de detector een grote storende invloed heeft bij FM-demodulatiemetingen zal in het locale oscillatorcircuit een tweede modulator (Isomet model 1207A) worden geplaatst (zie ook Holmes et al. [8]). Deze modulator zal de lokale oscillatorbundel 40 MHz in frequentie verschuiven. Heterodyne detectie en versterking vindt plaats in een band rond 140 MHz. Naar verwachting zal in deze opstelling de invloed van interne reflecties sterk onderdrukt worden.

4 DE INTEGRATOR

4.1 Principe

Bij de bepaling van afstanden tot zwak reflecterende of ver weg gelegen doelen kan de naar de detector gereflecteerde energie zo gering zijn dat de ruis een betrouwbare meting onmogelijk maakt. Bovendien kan de gereflecteerde energie sterk fluctueren en verzwakt worden door speckle en atmosferische effecten. Om doelreflecties van ruis te onderscheiden is het dan noodzakelijk met periodieke signalen te werken en over een (groot) aantal perioden het gedetecteerde signaal te sommeren. De amplitude van het signaal dat afkomstig is van de reflectie aan een doel zal evenredig met het aantal sommaties toenemen, terwijl de RMS-amplitude van de (willekeurige) ruis slechts toeneemt met de wortel uit dat aantal.

Om te kunnen sommeren is een digitale integrator gebouwd. Deze genereert de uit te zenden code en bemonsterd synchroon het gedetecteerde analoge signaal, waarbij de reeks in een digitaal geheugen wordt opgeslagen. Elke volgende periode wordt bij deze reeks opgeteld.

De signaal-ruisverhouding van één representatieve meting wordt hier gedefinieerd als:

$$\text{SNR}(1) = \frac{s[i]_{\max}}{\sqrt{\langle n[i]^2 \rangle}} \quad (4.1)$$

Hierin is $s[i]_{\max}$ de maximale waarde van het signaal over alle bemonsterde waarden en $\sqrt{\langle n[i]^2 \rangle}$ de RMS-waarde van de ruis. Theoretisch is dan de signaal-ruisverhouding van N gesommeerde perioden:

$$\text{SNR}(N) = \sqrt{N} \cdot \text{SNR}(1) \quad (4.2)$$

De integrator registreert de signaalamplitude als functie van de tijd. De verschuiving τ in de tijd tussen het zenden en het ontvangen van de code is aan de afstand R_d tot het doel gerelateerd volgens:

$$2R_d = c\tau \quad (4.3)$$

Hierin is c de lichtsnelheid. De tijdsduur $\Delta\tau$ tussen twee bemonsteringen is gelijk aan de inverse van de bemonsterfrequentie f_s ; deze tijdsduur is evenredig met een afstand ΔR_d volgens:

$$\Delta R_d = \frac{c}{2f_s} \quad (4.4)$$

Omdat zowel de periodeduur als het aantal bemonsteringen per periode N_{max} eindig is, is er een dubbelzinnigheidsinterval te definiëren:

$$R_{max} = N_{max} \cdot \Delta R_d \quad (4.5)$$

De gemeten afstand R_g kan dan als volgt in R_d worden uitgedrukt:

$$R_g = R_d \bmod R_{max} \quad (4.6)$$

In situaties waarvoor de waarde van R_{max} te laag is biedt de 'chinese remainder'-methode een oplossing (zie Ore [9]). Dit kan gerealiseerd worden door bijvoorbeeld twee integraties te doen met twee verschillende bemonsterfrequenties en dus verschillende waarden voor R_{max} . Indien de frequenties zich verhouden als twee getallen die onderling priemgetallen zijn, geven de twee metingen aanleiding tot een nieuw dubbelzinnigheidsinterval waarvan de grootte samenhangt met het produkt van de twee priemgetallen. Het principe wordt in de hier beschouwde systeem toegepast.

De integrator heeft een interne oscillator van 210 MHz. Indien met deze frequentie bemonsterd zou kunnen worden is ΔR_d gelijk aan 71 cm. Met een periodelengte van 1024 punten is dan het bij deze frequentie behorende dubbelzinnigheidsinterval R_0 gelijk aan 731,43 meter. De integrator leidt de bemonsterfrequentie van deze oscillator af door de frequentie te delen door de getallen 5, 6 of 7 die onderling priem zijn. Dit resulteert in een frequentie van respectievelijk 42, 35 en 30 MHz. De dubbelzinnigheidsintervallen R_{max} zijn dan $5xR_0$ (3657 meter), $6xR_0$ (4388 meter) of $7xR_0$ (5120 meter). Een dubbele meting met de frequenties 42 en 30 MHz levert een nieuw interval op ter grootte van $5x7xR_0$; dit is gelijk aan 25,6 km. Dit interval is voldoende groot, omdat gelet op het vermogen van de laserradarsysteem er geen reflecties van verder gelegen doelen verwacht worden.

Als een dubbele meting met twee bemonsterfrequenties resulteert in twee gemeten afstanden R_{g1} en R_{g2} met dubbelzinnigheidsintervallen $R_{\max1}$ en $R_{\max2}$ worden er twee lijsten aangelegd. Deze lijsten bestaan uit de waarden

$$\begin{array}{ll} R_{g1} & R_{g2} \\ R_{g1} + R_{\max1} & R_{g2} + R_{\max2} \\ R_{g1} + 2\sigma R_{\max1} & R_{g2} + 2\sigma R_{\max2} \\ \dots & \dots \end{array}$$

Er komen geen waarden voor die groter zijn dan het nieuwe dubbelzinnigheidsinterval. De lijsten worden vergeleken. De waarde die in beide lijsten voorkomt (binnen een zekere meetfout) is de juiste afstand R_d tot het doel. Een getaltheoretische oplossing (uitgaande van heeltallige waarden) zoals beschreven in Ore [9] kan aanleiding geven tot grote fouten in R_d , veroorzaakt door meeton nauwkeurigheden in de afstandmetingen. Een vergelijkbare, aan de reële meetwaarden aangepaste methode, waarbij deze fouten niet optreden, is opgenomen in bijlage C.

4.2 Werking

De integrator is geschikt voor het bemonsteren en integreren van een analoog signaal van maximaal 2 Volt (top/top) in de frequentieband 8 kHz - 21 MHz, terwijl synchroon aan de bemonstering een programmeerbaar analoog codesignaal (0 - 1,5 Volt) als uitgang beschikbaar is. De bemonsterfrequentie is instelbaar en bedraagt maximaal 42 MHz. In dat geval is de afstandresolutie volgens (4.4) 3,6 meter. De besturing en uitlezing geschiedt via de IEEE-488 interfacebus. De opbouw van de integrator is schematisch weergegeven in figuur 4.1. De onderdelen worden in deze paragraaf nader toegelicht. In bijlage B zijn de aansluitingen en de besturingscommando's beschreven. Een technische beschrijving van de integrator is gemaakt door W. Noordermeer [5].

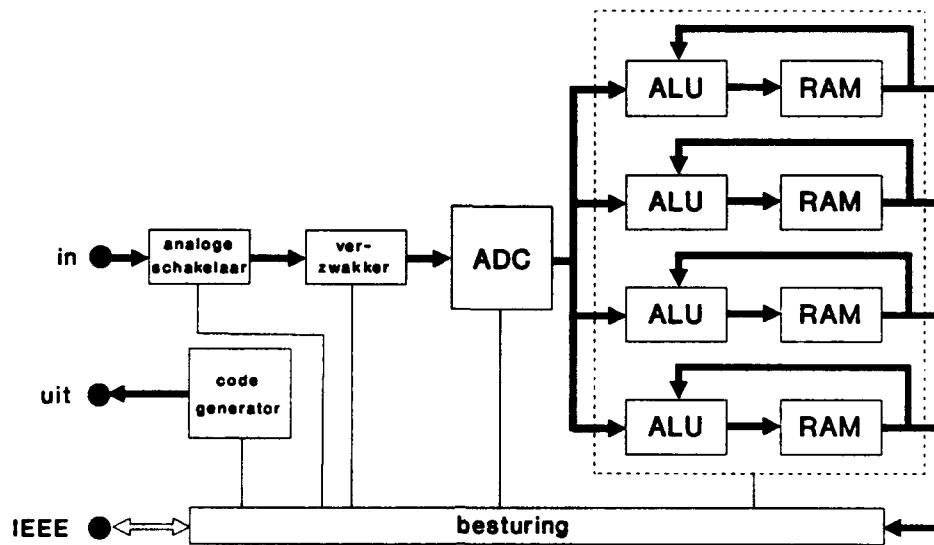


Fig. 4.1: Schematische opbouw van de integrator.

De codegenerator

De uit te zenden code is opgeslagen in het codegeheugen. Dit is een 8 bit 4096-kanaals geheugen dat synchroon aan de bemonsterfrequentie wordt uitgelezen en via een D/A-converter wordt omgezet in een analoog 0-1,5 Volt signaal. Deze spanning wordt als AM-modulatie- of als FM-triggersignaal aan de zender/ontvangereenheid aangeboden. Daar wordt vervolgens een voor de akoesto-optische modulator geschikt RF-zendsignaal gegenereerd.

De A/D-converter

Het bemonsteren van het gemeten signaal gebeurt met een bipolaire 8 bit-ADC bij een maximale bemonsterfrequentie van 42 MHz. Om afstandsdubbelzinnigheden op te kunnen lossen zijn ook de frequenties 35 en 30 MHz mogelijk. Bovendien is de integrator voorzien van een frequentiedeler, waardoor het mogelijk is een groot aantal klokfrequenties in te stellen. Ter vervanging van de interne oscillator (210 MHz) kan een externe oscillator aangeloten worden. Er is ook voorzien in een verzwakker, waarmee het ingangssignaal met een instelbare factor verzwakt kan worden.

Het geheugen

Het geheugen (RAM) bestaat uit 4096 geheugenplaatsen van 16 bit woorden. In de ALU's vindt de optelling plaats van de uit de ADC komende 8-bit getallen bij de reeds in het geheugen aanwezige 16-bit getallen. Om een verwerkingssnelheid van 42 MHz te kunnen halen is de integrator opgebouwd uit vier parallel geschakelde secties, elk werkend bij (maximaal) 10,5 MHz. Het is mogelijk de periodelengte korter dan 4096 kanalen te kiezen. Daartoe wordt het geheugen opgedeeld in blokken. Het combineren van de blokken moet dan m.b.v. software plaatsvinden.

De overflowdetectie

De integrator stopt het sommeren als een van te voren ingesteld aantal sommaties verricht is of als een overflow optreedt in een van de geheugenplaatsen. De overflowlimiet kan worden ingesteld op 8 of 16 bit. Bij de 8 bit instelling wordt de overflow gedetecteerd op het moment dat naar een van de kanalen een getal groter dan 8 bit geschreven wordt. De sommatie wordt dan afgemaakt tot het eerst volgende veelvoud van 4096 bemonsteringen. Bij de 16-bit instelling wordt een overflowmelding gemaakt als naar een van de geheugenplaatsen een getal wordt geschreven dat bij de volgende sommatie mogelijk groter dan 16 bit zou kunnen worden. Een feitelijke overflow treedt dus niet op. Ook in dit geval wordt de sommatie pas afgebroken bij het eerst volgende veelvoud van 4096.

Inverteren

Het binnenkomende analoge signaal wordt elke tweede serie van 4096 bemonsteringen geïnverteerd door de analoge schakelaar terwijl het overeenkomstige 8-bit getal in de ALU's van de 16-bit geheugeninhoud afgetrokken wordt (in plaats van er bij opgeteld). Het resultaat is dat synchrone storingen en offset in de ADC onderdrukt worden. De toepassing van deze schakeling heeft geleid tot een gemeten afname in amplitude van deze storingen met een factor 12. Geringe nadelen van deze schakeling zijn een verzwakking van het signaal (ca. 3,5 dB) en een beperking in het laagfrequente gebied (ondergrens 8 kHz).

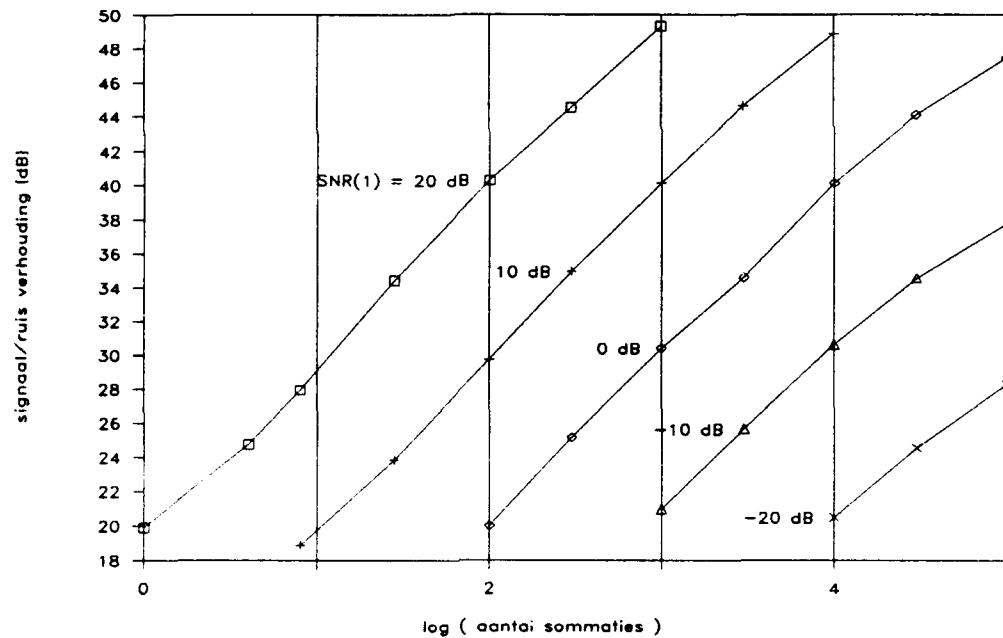


Fig. 4.2: De gemeten signaal-ruisverhouding als functie van het aantal door de integrator uitgevoerde sommata, voor verschillende waarden van SNR(1).

Gating

De gating biedt de mogelijkheid met een extern signaal (afkomstig van de zender/ontvangerenheid) het sommeren uit te schakelen. Door het gatesignaal samen te laten vallen met een stoorpiek in het detectorsignaal kan deze onderdrukt worden. Bij het achterwege laten van gating bestaat de kans dat de stoorpiek overflow veroorzaakt zodat het gewenste aantal integraties niet gehaald wordt.

4.3 Metingen

De aanwezigheid van synchrone storing is getest met een gesimuleerd ontvangersignaal. Er is uitgegaan van een 100ns puls met een middels een verzwakker regelbare amplitude. Deze werd opgeteld bij ruis (ca. 30 mV RMS) afkomstig van een ruisgenerator.

Volgens (4.2) betekent een verdienstvoudiging van het aantal sommata een toename in signaal-ruisverhouding van 10 dB. In figuur 4.2. is de gemeten signaal-ruisverhouding weergegeven als functie van het aantal sommata, voor verschillende waarden van SNR(1). De figuur laat inderdaad een toename zien in signaal-ruisverhouding van ongeveer 10 dB per decade. Dit wijst er op dat de storingen effectief onderdrukt worden.

5. DE ZENDER/ONTVANGER

De zender/ontvanger is ontworpen en gebouwd door ing. H.E.R. Boetz. Een uitgebreide documentatie is te vinden in [7]. De eenheid is gebouwd voor het genereren en verwerken van signalen ten behoeve van afstand-, snelheids- en vibratiemetingen en wordt in dit hoofdstuk kort besproken.

5.1 Afstand- en snelheidsmetingen

Bij afstandmetingen met een AM-gemoduleerde laserbundel wordt het modulatiesignaal geleverd door de codegenerator in de integrator (zie hoofdstuk 4). Hiermee wordt een RF-oscillatorsignaal van 100 MHz gemoduleerd, dat als stuursignaal dient voor de vermogensversterker van de akoesto-optische modulator (zie figuur 5.1).

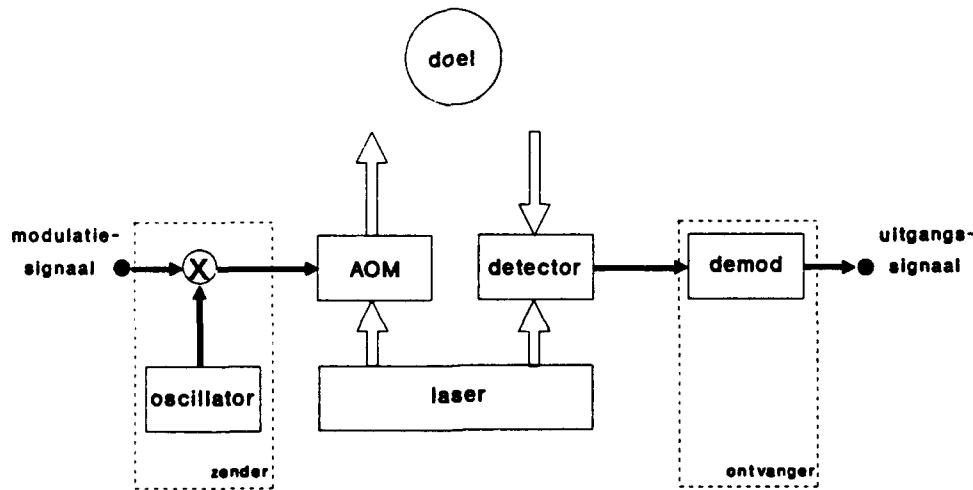


Fig. 5.1: De zender/ontvanger: AM-modulatie.

Een afstandmeting met een FM-gemoduleerde laserbundel start door een triggersignaal uit de codegenerator van de integrator. Daarop wordt een puls van ca. 75 ns gegenereerd die door een dispersive vertraginglijn (surface acoustic wave device - SAW) gestuurd wordt (zie figuur 5.2). Dit resulteert in een lineaire frequentiezaai (chirp) van 110 naar 90 MHz in ca. 5 μ s.

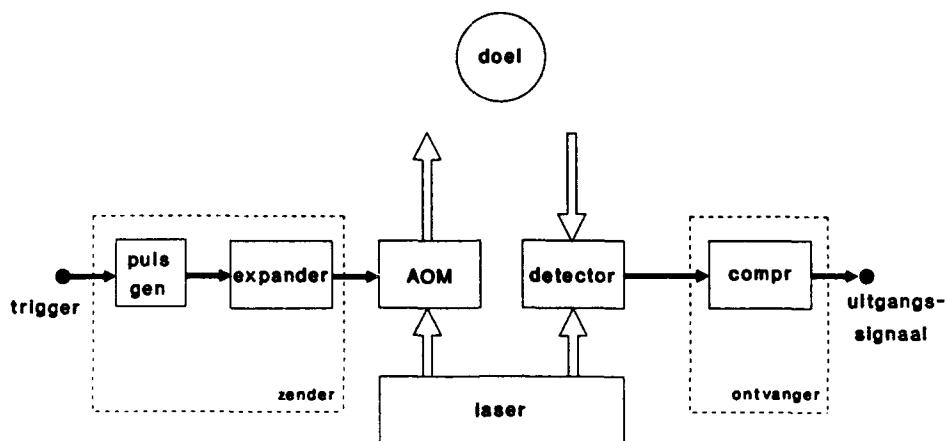


Fig. 5.2: De zender/ontvanger: FM-modulatie.

Aan de ontvangstzijde gaat de (heterodyne) gedetecteerde frequentiezaai door een vertragingsslijn met tegengestelde dispersie. Het resultaat is een puls die aan de integrator of aan een oscilloscoop kan worden aangeboden.

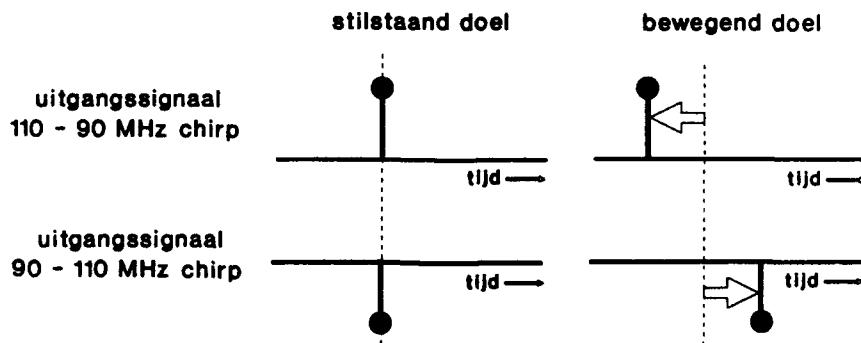


Fig. 5.3: Verschuiving van het FM-chirp uitgangssignaal als gevolg van de beweging van een doel.

Een grotere afstand tot een doel betekent een groter tijdsverschil tussen het triggermoment en de puls aan de uitgang. Een bewegend doel zorgt voor een Dopplerverschuiving op de frequentiezaai. Zolang het Dopplerverschoven signaal nog enigszins binnen de bandbreedte van de vertragingsslijn valt zal deze een uitgangspuls produceren. Deze puls zal in tijd verschoven zijn ten opzichte van een puls afkomstig van een even ver verwijderd, maar stilstaand doel. Met één meting van het tijdsverschil tussen het triggermoment en de uitgangspuls kunnen de twee

onbekenden, afstand en snelheid, dus niet opgelost worden. Daarom kan de zender/ontvanger de genoemde (down-)chirp laten volgen door een (up-)chirp met een frequentiezaai van 90 naar 110 MHz. De tijdsverschuiving ten gevolge van de beweging van een doel is nu even groot, maar tegengesteld gericht (zie figuur 5.3). Uit de twee metingen kunnen nu afstand en snelheid opgelost worden. Meetresultaten zijn te vinden in hoofdstuk 7.

5.2 Vibratiedetectie

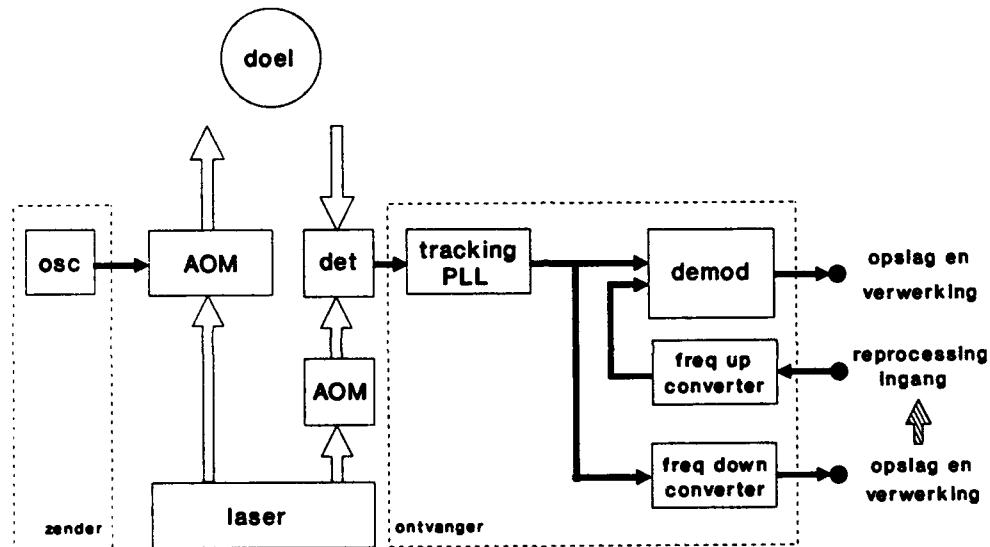


Fig. 5.4: Vibratiedetectie. De AOM in de locale oscillator bundel zal worden ingebouwd om overspraak van de AOM in de zendbundel naar de detector te onderdrukken.

Trillingen van doelen veroorzaken een frequentiemodulatie op de gereflecteerde laserbundel. Om deze trillingen te kunnen detecteren wordt aan de laserbundel door middel van een akoestooptische modulator 100 MHz in frequentie verschoven (zie figuur 5.4). Het stuursignaal hiervoor is afkomstig van de zender/ontvanger. In verband met de voor vibratiedetectie noodzakelijke FM-demodulatie van het heterodyne signaal is de sterkte van de optische overspraak van de modulator naar de detector (zie hoofdstuk 3) bepalend voor de detectiegevoeligheid. Effectieve onderdrukking van de storing kan verkregen worden door de locale oscillatorbundel door een tweede modulator in frequentie te verschuiven. In Holmes [8] wordt een dergelijke opstelling beschreven, waarmee goede resultaten zijn geboekt. Er zal een Isomet 1207A modulator ingebouwd worden die geschikt is voor een modulatiefrequentie van 40 MHz. In de toekomstige

opstelling voor vibratiedetectie bestaat het gereflecteerde signaal na heterodyne detectie, versterking en filtering uit een draaggolf van 140 MHz en een frequentiemodulatie ten gevolge van de trillingen van het doel (bandbreedte van de trillingen maximaal 10 kHz). Als het doel beweegt resulteert dit in een Dopplerverschuiving van het signaal; deze verschuiving wordt gevuld (phase-locked loop frequentietracking) in de eerste demodulatiestap. Na deze stap heeft de draaggolf een frequentie van 10,7 MHz. Er worden twee mogelijkheden geïmplementeerd:

- (1) Het signaal wordt rechtstreeks FM-gedemoduleerd. Dit is alleen mogelijk als de draaggolf voldoende sterk boven de ruis en storing uitkomt. Het frequentiespectrum van het uitgangssignaal komt nu overeen met die van het doel en kan geanalyseerd of opgeslagen worden. Voor de opslag van de ruwe niet-gedemoduleerde data is een LeCroy waveformrecorder (zie hoofdstuk 6) en een taperecorder beschikbaar.
- (2) De frequentie van de draaggolf wordt verlaagd naar 45 kHz (bandbreedte modulatie 30 kHz) of 450 kHz (bandbreedte 300 kHz). Het ruwe signaal kan nu worden opgeslagen op dezelfde media. Er is een speciale voorziening om het taperecordersignaal later op de manier onder (1) te kunnen demoduleren.

6

DE LECROY WAVEFORMRECORDER

6.1 Beschrijving

Om onderzoek te kunnen verrichten aan de signaalverwerking van FM-Dopplersignalen voor vibratiedetectie is er behoefte aan een faciliteit om voldoend lange tijdreeksen van deze signalen op te slaan. Deze mogelijkheid wordt geboden door de LeCroy waveformrecordereenheid. Deze eenheid bestaat uit een IEEE-583 (CAMAC) interfacebus, een 6810 waveformrecorder met geheugenuitbreiding (totaal 1 Mwoord) en een 8901A CAMAC/GPIB-interface. Door dit interface is de recorder te besturen via een IEEE-488 (GPIB) interfacebus.

Met de recordereenheid kunnen één tot vier signalen bemonsterd worden met een resolutie van 12 bit (2 bytes) en een instelbare bemonsterfrequentie van maximaal 5 MHz. Bij gebruik van meer dan een ingangskanaal is de maximale frequentie lager. De beschikbare geheugenruimte kan worden verdeeld over het aantal aangesloten ingangskanalen en kan worden opgedeeld in segmenten (1-1024). Elke meting wordt dan één segment gevuld. De volleschaal waarde van de aangeboden spanning is instelbaar tussen 400 mV en 100 V. Er is ook een mogelijkheid differentiële spanningen te meten.

De aangeboden signalen worden voortdurend bemonsterd en cyclisch in een segment weggeschreven. Vanaf het moment dat er getriggerd wordt (bijvoorbeeld op een signaalflank, een extern signaal of een besturingscommando) wordt het segment nog één maal gevuld waarna het bemonsteren stopt. Het triggeradres wordt bewaard. Het proces herhaalt zich in eventuele volgende segmenten. Het is ook mogelijk om na de trigger slechts een (instelbaar) gedeelte van het segment over te schrijven, zodat ook voor de trigger bemonsterde signaalwaarden (pretrigger) beschikbaar zijn.

Het uitlezen van het geheugen kan op twee manieren: per kanaal en segment of in de volgorde waarin de bemonsterde signalen naar het geheugen zijn weggeschreven. In het laatste geval dienen de triggeradressen apart te worden uitgelezen en moeten de bemonsterde waarden achteraf in de juiste volgorde worden gerangschikt. Wel is op deze manier de hoogste uitlees snelheid te bereiken (maximaal 450 Kbytes per seconde, afhankelijk van de snelheid aan de ontvangende zijde).

Het uitlezen van het bemonsterde signaal per kanaal en segment geschiedt als volgt: uit het triggeradres, de pretriggerinstelling en een eventueel opgegeven offset wordt het beginadres berekend, waarna het gehele segment wordt uitgelezen. Uit metingen is gebleken dat met een HP

9000/200 computer voorzien van een DMA-kaart de uitleesnelheid voor deze manier van uitlezen 210 Kbytes per seconde is. Een beperking voor de uitleesnelheid is de blokgrootte van de HP 98620B DMA-kaart (maximaal 64 Kbytes). Het uitlezen van grotere segmenten kost daarom een aantal slagen. Zonder DMA is de snelheid ongeveer 120 Kbytes per seconde.

6.2 Besturing via de GPIB-interfacebus

De recordereenheid kan uitsluitend bestuurd worden via de GPIB-interfacebus, met commando's bestaande uit een of meer bytes. Er is een onderscheid tussen de commando's voor de waveformrecorder en die voor het interface.

Commando's voor de 6810 waveformrecorder

Een commando voor de waveformrecorder is opgebouwd uit 3 tot 6 bytes. Deze bytes representeren het stationsnummer N (de plaats waar de recorder op de CAMAC-bus aangesloten is), het subadres A en de functiecode F, waaraan een 'data'-woord van één tot drie bytes kan worden toegevoegd. Een commando kan tot gevolg hebben dat een datawoord moet worden uitgelezen. De volgorde waarin de bytes over de GPIB-bus verzonden moeten worden is: F , A , N [, W].

De functiecode F voor de recorder kan een waarde hebben tussen 0 en 31. Hieraan herkent het interface dat het commando voor de interne CAMAC-bus bestemd is (in tegenstelling tot een interfacecommando) en dat er nog enkele bytes volgen. Het gehele commando wordt ingelezen en in een geheugen opgeslagen. Zodra het interface een TALK-commando over de GPIB-bus ontvangt wordt het commando over de CAMAC-bus verzonden. De CAMAC-bus bestaat uit 24 lees- en 24 schrijflijnen, aparte A-, F- en N-lijen, besturings- en voedinglijnen. Het hele commando, inclusief de databytes, kan dus in één cyclus van het interface naar de 6810-recorder verzonden. Indien er meer dan één databyte is, moet het minst significante byte als eerste verzonden worden.

Interfacecommando's

Een besturingscommando voor het interface bestaat uit één byte. Er zijn 22 interfacecommando's. Daarmee wordt onder andere de overdracht van gegevens geregeld, zoals de woordlengte op de CAMAC-lees- en schrijflijnen (1, 2 of 3 bytes), de uitleessnelheid en het al dan niet in blokken overzenden van de gegevens. Ook kan worden ingesteld welke statusinformatie van de CAMAC-bus omgezet moet worden in een SRQ-melding op de GPIB-bus (zie de Operator's manual [6]). De stand van twee jumpers aan de zijkant van de interfacemodule bepaalt de manier waarop een uit twee bytes bestaand datawoord bij het uitlezen van de recorder over de GPIB-bus verzonden wordt. De jumpers zijn omgezet van 'normal' (het minst significante byte eerst) naar 'reverse' omdat de HP 9000/220 computer eerst het meest significante byte verwacht. De volgorde waarin de bytes naar het interface geschreven worden (het minst significante byte eerst) kan niet worden gewijzigd.

6.3. Het besturingsprogramma.

Voor de besturing van de waveformrecorder vanuit de HP 9000/220 computer is een Pascal-programma ontwikkeld. Hiermee kunnen functies worden uitgevoerd als het initialiseren van de recorder, het wijzigen van de instelparameters, het starten van metingen, het uitlezen en het op een beeldscherm weergeven van de inhoud van het recordergeheugen. Ook is besturing op lager niveau mogelijk in de vorm van het verzenden en het ontvangen van bytes. De tekst van het programma is opgenomen in bijlage D.

7

METINGEN

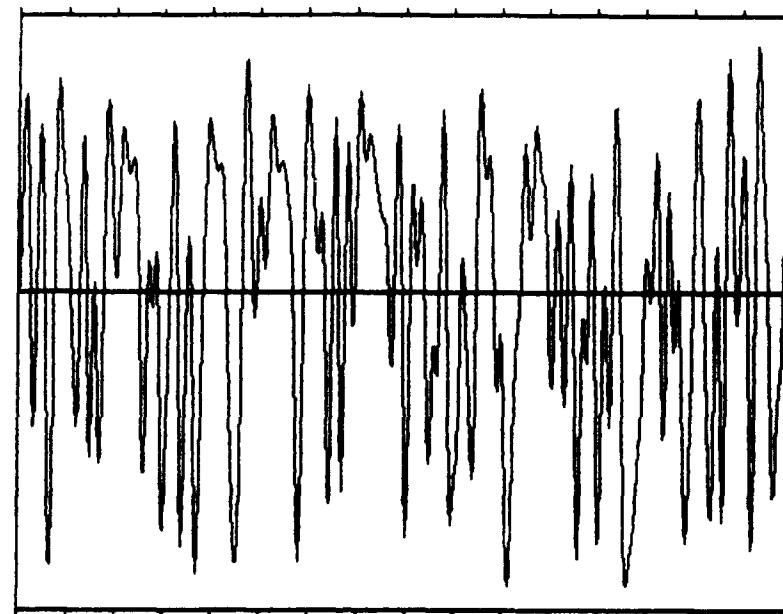
7.1 Afstand- en snelheidsmetingen

In figuur 7.1 is een afstandmeting weergegeven, waarbij de laserbundel AM-gemoduleerd is volgens een binaire pseudo-ruiscode (de kwadratische residu-code met een lengte van 523 plaatsen). Deze code (beschreven in de Jong [10]) heeft de eigenschap dat de autocorrelatiefunctie scherp gepiekts is rond de nul en elders een constante (lage) waarde heeft. Het signaal werd gereflecteerd aan een retroreflector op ca. 300 meter afstand, bemonsterd met een frequentie van 42 MHz en gesommeerd in de integrator (periodelengte 1024 punten). Het resultaat na ca. 900 sommaties is te zien in figuur 7.1a. Figuur 7.1a laat de uitvoer van de integrator zien. Kruiscorrelatie van deze uitvoer en de uitgezonden code levert het meetresultaat in figuur 7.1b.

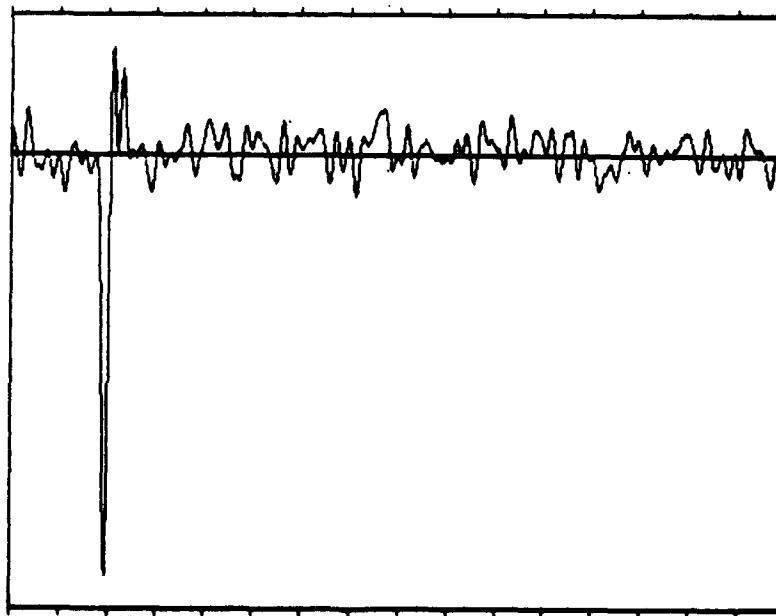
Figuur 7.2 toont twee afstandmetingen met FM-chirp-modulatie met twee verschillende bemonsterfrequenties (42 en 35 MHz). De bundel werd gereflecteerd aan een retroreflector op een toren op ca. 5 kilometer afstand. Er vonden ca. 1450 sommaties plaats. De afstandsdubbelzinnigheid werd opgelost met de in hoofdstuk 4 besproken methode.

In figuur 7.3 is een meting weergegeven waarbij gebruik is gemaakt van twee FM-chirps (zie hoofdstuk 5): een frequentiezwaai van 110 naar 90 MHz (meetresultaat: omlaagwijzende pieken) en een van 90 naar 110 MHz (omhoogwijzende pieken). De bundel werd gereflecteerd aan twee doelen: een metalen hek op ca. 530 meter afstand en een bewegend voertuig op ca. 550 meter afstand. Het signaal werd bemonsterd met een frequentie van 42 MHz en werd over een korte duur geïntegreerd (periodelengte 1024 punten).

In ref [11] is de opzet en werking van het besturingsprogramma beschreven.



$Y = [-30935..26234]$ $X = [0..1023]$



AM Range Mode

$Y = [-4839..1283]$ $X = [0..1023]$

Fig. 7.1:

Meting aan retroreflector op ca. 300 meter afstand. AM-modulatie van de laserbundel met een pseudo-random code.

- (a) Uitvoer integrator na integratie over ca. 900 perioden;
- (b) Meetresultaat na kruiscorrelatie van de integratorentvoer en de uitgesonden code.

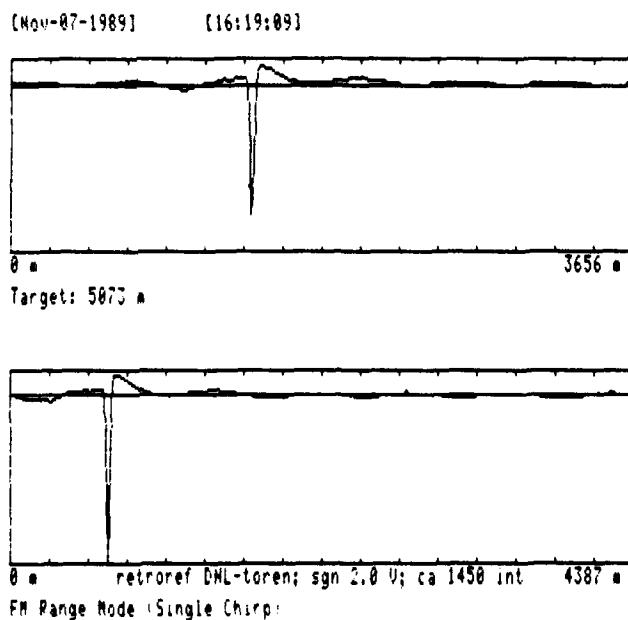


Fig. 7.2: Afstandsmetingen met FM-chirp modulatie; bemonsterfrequenties 42 en 35 MHz. Reflectie aan een retroreflector op ca. 5 km afstand.

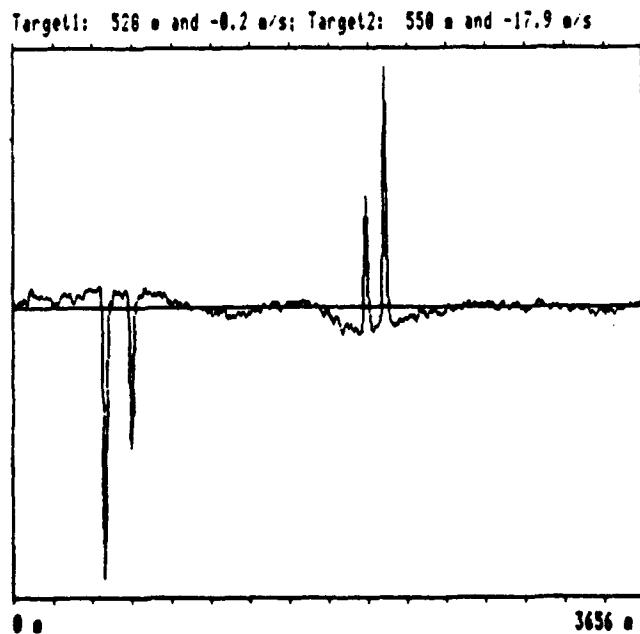


Fig. 7.3: Afstand- en snelheidsmeting met 110-90 en 90-110 MHz chirp. Het signaal werd gereflecteerd aan een stilstaand en een bewegend doel.

7.2 Vibratiedetectie

Als voorbereiding op de wijzigingen in de zender/ontvanger ten behoeve van de vibratiedetectie is een aantal testmetingen verricht. In figuur 7.4 is het vermogensspectrum van een FM gedemoduleerd signaal weergegeven dat gereflecteerd is aan een luidspreker (op een afstand van ca. 250 meter), welke is gestuurd met een frequentiezaai van 0 tot 1 kHz. De piek bij 512 Hz is veroorzaakt door de periodieke sinusvormige trilling van het piëzoelektrische kristal aan de achterspiegel van de laser dat gebruikt wordt voor de stabilisatie van de laser.

In figuur 7.5 is het vermogensspectrum weergegeven in het geval dat dezelfde luidspreker gestuurd wordt met pulsen van $125 \mu\text{s}$ lengte en een herhalingsfrequentie van 122,5 Hz. In het spectrum zijn de grondtoon, de boventonen en de 512 Hz laserstabilisatiepiek te zien.

Het vermogensspectrum van de reflectie aan een met een frequentie van 102 Hz trillende retroreflector is weergegeven in figuur 7.6. De retroreflector was bevestigd aan een toren op ca. 5 kilometer afstand. De stabilisatie van de laser was uitgeschakeld.

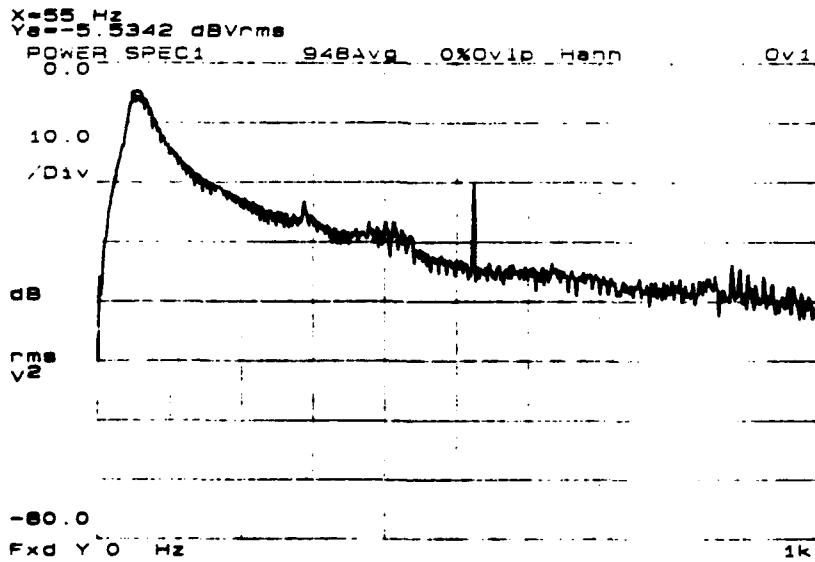


Fig. 7.4: Vermogensspectrum FM-signaal van een reflectie aan een luidspreker op 250 meter.

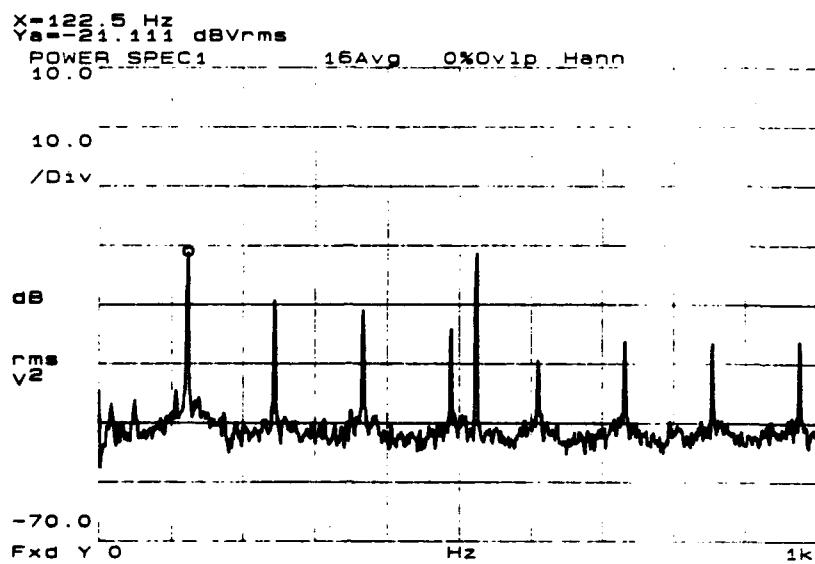


Fig. 7.5: Vermogensspectrum FM-signalen na reflectie aan een luidspreker op 250 meter. De luidspreker is gestuurd met pulsen van 125 μ s lengte en een herhalingsfrequentie van 122,5 Hz.

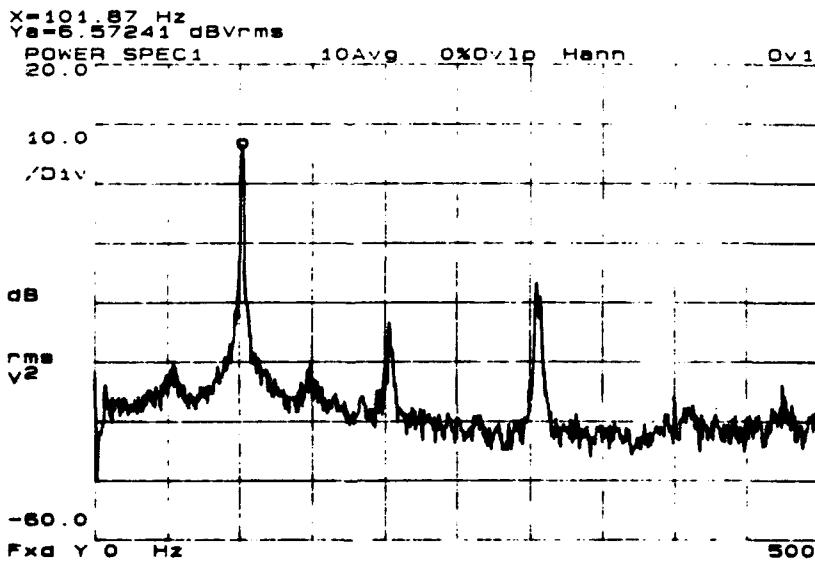


Fig. 7.6: Vermogensspectrum van FM-gedemoduleerde reflectie aan een op 5 km opgestelde en met een frequentie van 120 Hz trillende retroreflector.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De modulator

Het in de specificaties van de modulator genoemde rendement betreft het rendement van de afbuiging in het germaniumkristal. Het modulatorrendement (het quotiënt van de vermogens van de afgebogen- en de invallende bundel) is ook nog afhankelijk van de optische verliezen en reflecties aan de lenzen en het oppervlak van het germaniumkristal. Het gemeten modulatorrendement is 27 - 32% in de frequentieband 90 - 110 MHz bij een elektrisch ingangsvermogen van ca 13 Watt. Dit is ca. 70% van het gespecificeerde rendement gecorrigeerd voor de optische verliezen.

De optische reflecties in het germaniumkristal geven aanleiding tot optische overspraak van de modulator naar de detector via het locale oscillatorcircuit. Deze overspraak resulteert in een stoorsignaal aan de uitgang van de detector dat ca. 30 dB boven de lokale oscillatorruis uitkomt.

De integrator

De gebruikte signalen, met toepassing van AM- en FM-modulatie, zijn door de integrator goed te verwerken. De speciale schakeling om synchrone storingen en offset in de ADC te onderdrukken zorgt voor een reductie in amplitude van deze storingen met een factor 12. Mede door toepassing van deze schakeling werkt de integrator volgens verwachting (1 seconde integreren over 40.000 perioden).

Het laserradersysteem

Met gebruik van de Mullard 100A modulator zijn de beoogde metingen van afstanden en snelheden goed mogelijk. De genoemde optische storing bepaald echter de grens voor het minimale signaalniveau bij vibratiedetectie, in verband met FM-demodulatie. De overspraak kan drastisch verminderd worden door de detector optisch te isoleren door het opnemen van een extra modulator in het locale oscillatorcircuit (zie ook Holmes [8]). Er zal een reeds beschikbare 40 MHz-modulator worden gebruikt. De detectorversterker zal dan aangepast moeten worden om detectie bij ca. 140 MHz (in plaats van 100 MHz) te realiseren.

9 LITERATUUR

1. Fox, A.J., *a handbook for the AOM100 acousto-optic modulator*, report no. 3336 (1986), Philips Research Laboratories, Redhill England.
2. Korpel, A., *Acousto optics - a review of fundamentals*, proc. IEEE 69 1 (1981).
3. Chang, I.C., *Acoustooptic devices and applications*, IEEE trans. on sonics and ultrasonics, SU-23 1 (1976).
4. Philips data handbook, *Semiconductors S6*, (1986).
5. Noordermeer, W., *De real-time integrator*, FEL-TNO (te publiceren).
6. *Operator's manual 6810 waveform recorder, 8901A CAMAC to GPIB interface, 8013A instrument mainframe*, 1987/88/89 LeCroy Corp.
7. Boetz, H.E.R., *HF signaalverwerkseenheid ten behoeve van het CO₂-laser heterodyne radarsysteem*, FEL-TNO (te publiceren).
8. Holmes, J.F., Amzajerdian, F. en Hunt, J.M., *Improved optical local-oscillator isolation using multiple acousto-optic modulators and frequency diversity*, Optics Letters 12 8 (1987).
9. Ore, O., *Number theory and its history*, McGraw-Hill (1948).
10. Jong, J. de, *Beschrijving van software voor een CO₂-laserradar-systeem*, FEL-TNO
11. Vegt, W.G. van der, *Pascal Software voor CO₂-laserradar afstandmetingen met de HP9000*

Drs. C.W. Lamberts
(groepleider)

Drs. R.J.L. Lerou
(projectleider)

SPIEGELMANIPULATIES

Voor een goede werking van de modulator is het noodzakelijk de laserbundel op de juiste wijze via de intreelens op het germaniumblok te richten. Zowel de plaats als de hoek van inval zijn van belang. Om alle bundelbewegingen mogelijk te maken wordt de laserbundel via twee spiegels op de intreelens van de modulator gericht. De eerste spiegel (gezien in de richting van de bundel) is door middel van twee micrometerschroeven kantelbaar om een horizontale en verticale as. De tweede spiegel heeft daarnaast ook nog een micrometerschroef voor horizontale translatie.

Het verband tussen de vier rotatie-instellingen en de bundelbeweging is experimenteel bepaald. De verandering (in mm) van de micrometerschroefstand wordt aangeduid met Δh_i (horizontaal) en Δv_i (verticaal). De index i geeft aan om welke spiegel het gaat. De positieverandering (in mm) van de bundel ter plaatse van de intreelens van de modulator wordt aangegeven met Δx_{in} (horizontaal) en Δy_{in} (verticaal). Het teken is positief voor een verandering naar rechts resp. omhoog. De verandering in hoek van inval (eenheid rad) wordt aangeduid met $\Delta\phi$ (in het horizontale vlak) en $\Delta\psi$ (in het verticale vlak). Het teken is positief voor een hoekverandering die tot gevolg heeft dat de bundel meer naar rechts resp. hoger op het germaniumkristal invalt. Experimenteel geldt in eerste benadering de volgende relatie in het verticale vlak:

$$\begin{pmatrix} \Delta y_{in} \\ \Delta\psi \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} 5,60 & 2,45 \\ 0,04 & 0,03 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta v_1 \\ \Delta v_2 \end{pmatrix} \quad (A.1)$$

De inverse relatie geeft de aan hoe de instelling van de micrometerschroeven veranderd moet worden om de gewenste verplaatsing en hoekverdraaiing van de bundel in het verticale vlak te realiseren:

$$\begin{pmatrix} \Delta v_1 \\ \Delta v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,43 & 35 \\ 0,57 & -80 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta y_{in} \\ \Delta\psi \end{pmatrix} \quad (A.2)$$

Op dezelfde wijze is de relatie af te leiden die de bundelbewegingen in het horizontale vlak beschrijft:

$$\begin{pmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,37 & -31 \\ -0,29 & 46 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_{in} \\ \Delta \phi \end{pmatrix} \quad (A.3)$$

Indien alleen een horizontale parallelle verschuiving van de bundel vereist is, kan uiteraard gebruik gemaakt worden van de translatieinstelling van spiegel 2.

GEGEVENS VAN DE INTEGRATOR

In- en uitgangen integrator

in/uitgang	spanning	omschrijving
VIDEO IN	2 Vtt	signaalingang
GATE IN	TTL	gate, 'hoog' = sommatie onderdrukken
CLOCK IN	0,5 Vtt	externe oscillator, max. 250 MHz; in- en uitschakelen met schakelaar aan voorzijde; de interne oscillator is 210 MHz
VIDEO OUT	0 - 1,5 V	codegenerator
SYNC OUT	0 - 2 V	synchronize, golflengte = periodelengte systeemklok (max. 42 MHz)
CLOCK OUT	0 - 2 V	analoge uitlezing geheugeninhoud (lage of hoge byte); voorzijde
DAC OUT connector		syncronisatiesignaal oscilloscoop voor DAC OUT; connector voorzijde
SYNC DAC		

Commandotabel integrator.

com: comando;
 arg: argument van comando;
 data: uit te lezen van integrator;
 w: variabele, 16-bit woord (geen teken);
 b: variabele, 8-bit (byte).

com	arg	data	betekenis	domein-beperking	default
IN	w		aantal uit te voeren sommaties		1
OL	b		overflow limiet, 8 of 16 bit	0,1	1
FD	w		deling frequentie door w		1
MO	b		systeemklok, 210/b MHz	5,6,7	5
PL	b		periode, # bemonsteringen 2^{b+5}	0-7	4096
SA	b		verzwakkingsniveau signaal	0-15	15
SC	w,b		geheugenadres w vullen met b		
FC	4096*b	w	vul het gehele codegeheugen		
NI		w	aantal uitgevoerde sommaties		
SM	w	w	lees geheugenadres uit		
IM		4096*w	lees alle geheugens uit		
TL			analoge uitlezing LBytes		
TH			analoge uitlezing MSBytes		
WP	b		window periode (niet gelimpt.)		
WD	b		window vertraging (niet gelimp.)		

IEEE-buscommando's

commando	betekenis
TRIGGER	start van een meting
CLEAR	zet de integrator in de defaultwaarden; een meting wordt beëindigd en het integratorgeheugen gereset
SPOLL	leest statuswoord uit; meldingen van de integrator d.m.v. het statuswoord: bit 0: onjuist commando naar de integrator verzonden bit 1: meting voltooid defaultwaarde statuswoord: 64

RESOLVING RANGE AMBIGUITY WITH A RESIDUE CALCULUS METHOD

Suppose periods based on integer numbers P_1, P_2, P_3, \dots , which are relative prime.

Range measurements are denoted by R_1, R_2, R_3, \dots

These measurements will be of limited accuracy, their errors will in general be different.

For a range R we have the following expressions:

$$R = R_1 + N_1 \cdot P_1 \cdot R_0 = R_2 + N_2 \cdot P_2 \cdot R_0 = R_3 + \dots \quad (1)$$

R_0 is a unit of range, $P_x \cdot R_0$ is the range period of measurement x , N_x are integers, their values are not known.

From (1) we find:

$$(R_1 - R_2) = (N_2 \cdot P_2 - N_1 \cdot P_1) \neq R_0 \quad (2)$$

$$D_{12} = \frac{R_1 - R_2}{R_0} = \text{a whole number} \quad (3)$$

This fact will be used to combine the measurements in such a way that the error will not increase.

Define

$$C_{12} = \text{round}(D_{12}) \quad (4)$$

In the following we derive a procedure, called RangeComb, for the combination of two measurements.

The new range is denoted by $R_{12} = \text{RangeComb}(R_1, R_2)$. In general:

$$R_{12} = \frac{A \cdot (R_1 + N_1 \cdot P_1 \cdot R_0) + B \cdot (R_2 + N_2 \cdot P_2 \cdot R_0)}{A + B} \quad (5)$$

This is true for all A and B, provided $A + B \neq 0$. This is a weighted average of two ranges.

Replacing A and B, using whole number values for two new variables (L), we write instead of (5):

$$R_{12} = \frac{L_{12}^{(1)}P_2(R_1 + N_1P_1R_0) + L_{12}^{(2)}P_1(R_2 + N_2P_2R_0)}{L_{12}^{(1)} \cdot P_2 + L_{12}^{(2)} \cdot P_1} \quad (6)$$

Now choose

$$L_{12}^{(1)} \cdot P_2 + L_{12}^{(2)} \cdot P_1 = 1 \quad (7)$$

A solution exists when P_1 and P_2 are relative prime (equation may be solved by Euclid's or other methods).

$$\begin{aligned} R_{12} &= L_{12}^{(1)}P_2(R_1 + N_1P_1R_0) + L_{12}^{(2)}P_1(R_2 + N_2P_2R_0) \\ &= L_{12}^{(1)} \cdot P_2 \cdot R_1 + L_{12}^{(2)} \cdot P_1 \cdot R_2 + (L_{12}^{(1)} \cdot N_1 + L_{12}^{(2)} \cdot N_2) \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot R_0 \end{aligned} \quad (8)$$

The last term is just due to the new (larger) ambiguity range ($P_1 \cdot P_2 \cdot R_0$), and may therefore be dropped, while keeping the ambiguity in mind.

From (7) and (8) we find for the combined range measurement:

$$R_{12} = R_2 + L_{12}^{(1)} \cdot P_2 \cdot C_{12} \cdot R_0 \quad (9)$$

This formula has the important property that the error in R_{12} is equal to that in R_2 . Of course, an expression may be obtained in which the role of R_2 is taken by R_1 or the average of R_1 and R_2 .

Note that the value of R_x may jump by a value $P_x \cdot R_0$, which may happen when using a rounding procedure, without causing an error.

The new result can be combined with a third measurement by repeating the described procedure with inputs R_{12} and R_3 :

$$R_{123} = \text{RangeComb}(R_3, R_{12})$$

Again, the error in R_{123} will be equal to that of R_2 .

Averaging over the measurements may be achieved by carrying out the calculation procedure for different sequences of the measurements and taking the average of the results.

Example for measurements based on range periods $P_x \neq R_0$ with $P_1=5$, $P_2=6$, $P_3=7$:

$$R = R_1 + 5 \cdot N_1 \cdot R_0 = R_2 + 6 \cdot N_2 \cdot R_0 = R_3 + 7 \cdot N_3 \cdot R_0$$

Combine the measurements of R_1 and R_2 :

with $C_{12} = \text{round}((R_1 - R_2)/R_0)$

$$R_{12} = R_2 + (6 \cdot C_{12} \bmod 30) \cdot R_0 = R_2 + 6 \cdot (C_{12} \bmod 5) \cdot R_0$$

$$R_{21} = R_1 + (25 \cdot C_{21} \bmod 30) \cdot R_0 = R_1 + 5 \cdot (C_{12} \bmod 6) \cdot R_0$$

$$\langle R \rangle = 0.5 \cdot (R_1 + R_2 + (11 \cdot C_{12} \bmod 30) \cdot R_0)$$

Combining three measurements:

with $C_{312} = \text{round}((R_3 - R_{12})/R_0)$

$$R_{123} = R_{12} + (120 \cdot C_{312} \bmod 210) \cdot R_0$$

$$= R_{12} + 30 \cdot (4 \cdot C_{312} \bmod 7) \cdot R_0$$

Literature:

Merril I. Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw-Hill, 1970.

Oystein Ore, *Number theory and its history*, McGraw-Hill, 1948.

BESTURINGSPROGRAMMA VOOR DE LECROY WAVEFORMRECORDER

```
$SYS PROG      ON $ $LINES          74 $ $FLOAT_HDW    ON $  
$PARTIAL_EVAL ON $ $DEBUG           OFF$ $RANGE        OFF$  
$OVFLCHECK     OFF$  
$SEARCH 'LIB:QUERY','LIB:FFTLIB','LIB:OWNFFT','LIB:VIDIS'$  
  
{* 01-09-1989 by P.H.C. Bentvelsen }  
{* 29-01-1990 last update by P.H.C. Bentvelsen }  
{* driver LeCroy 6810 waveform recorder and 8901A GPIB/CAMAC-interface }  
  
program LeCroy;  
  
import  
  HPIB_0,HPIB_1,HPIB_2,HPIB_3,IOdeclarations,  
  General_1,General_2,General_3,General_4,  
  SysDevs,query,fftlib,ownfft,vidis;  
  
const  
  HPIB          = 7;  
  LeCroyAddress = 12;  
  selector       = 712;  
  arielfft       = 31;  
  buffersize     = 2097200; { 2 Mbyte buffer }  
  Bell          = chr(7);  
  
type  
  ASCIIIdecimal = 0..255;  
  sequencelength= 1..4;  
  Commandtext   = string[33];  
  ReturnMessage = string[33];  
  sequence       = array[sequencelength] of ASCIIIdecimal;  
  default        = array[1..33] of sequence;  
  comment        = array[1..33] of Commandtext;  
  control        = array[1..3] of ASCIIIdecimal;  
  word           = -32768..32767;  
  sectiontype   = 1..512;  
  blocktype     = 0..2500000;  
  datarec        = record  
    arr : array[0..(buffersize div 2)-1] of word  
  end;  
  
const  
  setwr = default[ { F, A, N,data} { F, A, N,data}  
    sequence[16, 0, 5, 0],sequence[16, 1, 5, 2],  
    sequence[16, 2, 5, 2],sequence[16, 3, 5, 2],sequence[16, 4, 5, 2],
```

```

sequence[16, 5, 5, 0],sequence[16, 6, 5, 0],sequence[16, 7, 5, 0],
sequence[16, 8, 5, 0],sequence[16, 9, 5, 0],sequence[16,10, 5, 0],
sequence[16,11, 5, 128],sequence[16,12, 5, 128],sequence[16,13, 5, 1],
sequence[16,14, 5, 0],sequence[16,15, 5, 0],sequence[17, 0, 5, 1],
sequence[17, 1, 5, 128],sequence[17, 2, 5, 128],sequence[17, 3, 5, 128],
sequence[17, 4, 5, 128],sequence[17, 5, 5, 0],sequence[17, 6, 5, 6],
sequence[17, 7, 5, 6],sequence[17, 8, 5, 6],sequence[17, 9, 5, 0],
sequence[17,10, 5, 4],sequence[17,11, 5, 1],sequence[17,12, 5, 0],
sequence[17,13, 5, 0],sequence[17,14, 5, 12],sequence[17,15, 5, 12],
sequence[19, 2, 5, 2]];

information = comment[                                'time stamp resolution      ',
'channel 1 sensitivity          ','channel 2 sensitivity      ',
'channel 3 sensitivity          ','channel 4 sensitivity      ',
'block length                   ','number of blocks, low byte',
'number of blocks, high byte   ','trigger holdoff disable/enable',
'trigger slope                 ','trigger coupling           ',
'trigger ''upper'' level       ','trigger ''lower'' level     ',
'trigger source                ','post trigger, low byte    ',
'post trigger, high byte       ','number of active channels',
'channel 1 offset              ','channel 2 offset           ',
'channel 3 offset              ','channel 4 offset           ',
'channel 1 source and coupling ','channel 2 source and coupling',
'channel 3 source and coupling ','channel 4 source and coupling',
'trigger delay                 ','number of samples per segment',
'number of segments, low byte  ','number of segments, high byte',
'dual timebase mode            ','frequency 1 sampling clock',
'frequency 2 sampling clock    ','check active memory        '];

setmc = control[ 33,                               {initialize CAMAC-crate      1}
                  97,                               {8 bit data transfer          2}
                  64 ];                            {disable SRQ                  3}

var
  HP9000address,
  blocksize      : integer;
  character       : char;
  data           : fftarray;
  quit           : boolean;
  buffer          : buf_info_type;
  ASCIIcommand,
  channel,segment : ASCIIdecimal;
  DataAccepted   : ReturnMessage;
  RealBufferSize,
  NumberOfBytes   : BlockType;
  Section         : sectiontype;
  arr             : ^Datarec;
  Settings6810    : default;
  Settings8901A   : control;

{-----}

```

```
{---try..recover escape routine ---}  
{-----}  
  
procedure RunTimeError;  
  
var  
  t,status1,status2 : integer;  
  error              : ReturnMessage;  
  
begin  
  status1:=escapemode;  
  status2:=iorequest;  
  case status1 of  
    -10 : if status2 = 4 then  
      error:='device timeout'  
    else  
      begin  
        error:=' ';  
        strwrite(error,1,t,status2:1);  
        report('I/O error '+error+Bell)  
      end;  
    -20 : Report('stopped by clear-I/O'+Bell);  
    -26 : report(ioerror_message(ioe_result)+Bell);  
  otherwise  
    begin  
      error:=' ';  
      strwrite(error,1,t,status1:1);  
      report('error '+error+Bell)  
    end  
  end  
end;  
  
{-----}  
{---delay in millisec ---}  
{-----}  
  
procedure wait(time : integer); {msec}  
  
var  
  a,b      : real;  
  i,j      : integer;  
  
begin  
  a:=-1.2345;  
  for j:=1 to time do  
    for i:=1 to 20 do a:=abs(b)  
end;  
  
{-----}  
{---allocate buffer -if not 2Mb, as large as possible---}  
{-----}
```

```
procedure InstallBuffer(var RealBufferSize : BlockType);

var
  txt : commandtext;
  t   : integer;

begin
  try
    IObuffer(buffer,RealBufferSize);      {allocate array}
  recover
  begin
    RealBufferSize:=(RealBufferSize div 6)*5;
    txt:=' ';
    strwrite(txt,1,t,RealBufferSize:1);
    Report('2 Mbyte buffer reduced to '+txt+' bytes');
    InstallBuffer(RealBufferSize)
  end
end;
{-----}
{---initialization, FFT is used in VIDIS-plotroutines---}
{-----}

procedure initialize;

var
  i     : integer;

begin
  ioinitialize;
  set_timeout(HPIB,4);
  try
    init_query(1,12,59,72,'');
    init_report(2,16,1);
    init_fftsys;      { fft-call only for vidis display routine}
    init_fft(arielfft,1024);
    vidis_init;

    RealBufferSize:=BufferSize;
    InstallBuffer(RealBufferSize);

    HP9000address:=my_address(HPIB);
    for i:=0 to 1023 do data[i]:=0;
    blocksize:=1024;
    settings6810 :=setwr;
    settings8901A:=setmc;
    NumberOfBytes:=0;
    quit:=false
    recover RunTimeError
  end;
```

```
{-----}
{---rewrite decimal 0-255 to ASCII and send      ---}
{-----}

procedure SendByteDecimal(ASCIIcommand : ASCIIdecimal);

begin
  untalk(HPIB);
  unlisten(HPIB);
  talk(HPIB,HP9000address);
  listen(HPIB,LeCroyAddress);
  writechar(HPIB,Chr(ASCIIcommand));
  unlisten(HPIB)
end;

{-----}
{---send sequence of max 4 decimal commands (0-255) ---}
{---and specify the number of commands           ---}
{-----}

procedure SendCommandSequence(F,A,N,W : ASCIIdecimal;
                               NumberOfBytes : SequenceLength);

var
  command : array[SequenceLength] of char;
  i       : SequenceLength;

begin
  Command[1]:=chr(F);
  Command[2]:=chr(A);
  Command[3]:=chr(N);
  Command[4]:=chr(W);
  untalk(HPIB);
  unlisten(HPIB);
  talk(HPIB,HP9000address);
  listen(HPIB,LeCroyAddress);
  for i:= 1 to NumberOfBytes do
    writechar(HPIB,command[i]);
  unlisten(HPIB)
end;

{-----}
{---send a TALK (=execute) to interface and test if ---}
{---service requested (if SRQ enabled, command 65-71)---}
{-----}

procedure Execute(var DataAccepted : Returnmessage);

var
  SRQtxt   : Returnmessage;
```

```
t : integer;

begin
  SRQtxt:=' ';
  listen(HPIB,HP9000address);
  talk(HPIB,LeCroyaddress); {execute}
  if requested(HPIB)
    then begin
      strwrite(SRQtxt,1,t,settings8901A[3]:1);
      DataAccepted:='SRQ enabled (see manual on command '+SRQtxt+')'
    end
    else DataAccepted:=' ';
  untalk(HPIB)
end;

{-----}
{---send a TALK (=execute) and receive max 6 bytes; ---}
{---stop at EOI ---}
{-----}

procedure ExecuteAndReceive(var DataAccepted : Returnmessage);

var
  response : char;
  t,cnt : integer;

begin
  DataAccepted:=' ';
  t:=1;
  cnt:=0;
  listen(HPIB,HP9000address);
  talk(HPIB,LeCroyaddress); {execute}

  repeat
    cnt:=cnt+1;
    readchar(HPIB,response); {receive}
    strwrite(DataAccepted,t,t,ord(response):4);
    if cnt>=6 then DataAccepted:='6 bytes read - no EOI detected'
  until end_set(HPIB) or (cnt>=6); {EOI-line set}

  untalk(HPIB)
end;

{-----}
{---produces break if 'DataAccepted'-message is not ---}
{---equal to exception ---}
{-----}

procedure Warning(var DataAccepted : Returnmessage;
                  exception : Commandtext);
```

```
var
  continue : boolean;

begin
  if DataAccepted <> exception then
  begin
    Report(DataAccepted+Bell);
    DataAccepted:=exception;
    continue:=queryfor_yes('continue')
  end
  else
    Report(DataAccepted)
end;

{-----}
{---change setup commands interactively ---}
{-----}

procedure ChangeSettings(var DataAccepted : ReturnMessage);

var
  txt,aa,ff : Commandtext;
  t,i        : integer;

begin
  if queryfor_yesno('change 8901A-interface settings') then
  begin
    txt:=' ';
    Report('refer to 8901A-manual p.10-11');
    strwrite(txt,1,t=settings8901A[1]:1);
    if queryfor_yesno('change CAMAC-command [now '+txt+') ') then
      settings8901A[1]:=queryfor_int('enter CAMAC-command [now '+txt+']',33,74,1);
    txt:=' ';
    strwrite(txt,1,t=settings8901A[2]:1);
    if queryfor_yesno('change bits/speed/format [now '+txt+') ') then
      settings8901A[2]:=queryfor_int('enter bits/speed/format [now '+txt+']',97,124,1);
    txt:=' ';
    strwrite(txt,1,t=settings8901A[3]:1);
    if queryfor_yesno('change SRQ-conditions [now '+txt+') ') then
      settings8901A[3]:=queryfor_int('enter new SRQ-conditions [now '+txt+']',64,71,1)
  end;

  if queryfor_yesno('change 6810-recorder settings') then
  begin
    for i:= 1 to 33 do
    begin
      Report(information[i]);
      txt:=' ';ff:=' ';aa:=' ';
      strwrite(aa,1,t=information[i]:1);
      strwrite(ff,1,t=information[i]:1);
      strwrite(txt,1,t=information[i]:1);
    end;
  end;
end;
```

```
        strwritet(ffd,1,t,settings6810[i,1]:1);
        strwritet(aa,1,t,settings6810[i,2]:1);
        strwritet(txt,1,t,settings6810[i,4]:1);
        if queryfor_yesno('change f('+ffd+') a('+aa+') data [current value '+
                           txt+']')
            then settings6810[i,4]:=queryfor_int('new data value',0,255,1)
        end
    end;

    DataAccepted:='now reinitialize'
end;

{-----}
{---perform setup of 6810 and 8901A ---}
{-----}

procedure PerformSetup(var DataAccepted : ReturnMessage);

var
  i    : 1..33;

begin
  for i:=1 to 3 do          {setup 8901A GPIB interface   }
    SendByteDecimal(settings8901A[i]);

  SendCommandSequence(9,1,5,0,3); {6810 reset to power up      }
  execute(DataAccepted);
  Warning(DataAccepted, ' ');
  Wait(700);

  SendCommandSequence(24,0,5,0,3); {disable lam on 6810           }
  execute(DataAccepted);
  Warning(DataAccepted, ' ');

  for i:= 1 to 33 do         {setup 6810 waveform recorder  }
begin
  SendCommandSequence(settings6810[i,1],settings6810[i,2],
                     settings6810[i,3],settings6810[i,4],4);
  Execute(DataAccepted);
  Warning(DataAccepted, ' ')
end;
  DataAccepted:='setup 8901A and 6810 completed'
end;

{-----}
{---command menu: initialize, change setup and      ---}
{---          primitive commands                   ---}
{-----}

procedure Command;
```

```
begin
repeat
    character:=queryfor_char('init, send byte, execute, '+
                             ' receive/exe, change sett, quit','a','z');
    if character in ['I','S','E','C','R','W','Q'] then
begin
    if not (character in ['I','E','R','C','Q']) then
        ASCIIcommand:=queryfor_int('enter command (decimal) [256=exit]',0,256,1);
    if ASCIIcommand <> 256 then
begin
        DataAccepted:=' ';
        case character of
            'I' : PerformSetup(DataAccepted);
            'S' : SendByteDecimal(ASCIIcommand);
            'E' : Execute(DataAccepted);
            'R' : ExecuteAndReceive(DataAccepted);
            'C' : ChangeSettings(DataAccepted);
            'Q' : quit:=true;
            otherwise {null}
        end;
        report(DataAccepted)
    end
end
until quit or (ASCIIcommand = 256);
ASCIIcommand:=0;
quit:=false
end;

{-----}
{---measure menu ---}
{-----}

procedure measure;

begin
repeat
    character:=queryfor_char('arm, trigger, signaltrigger, reset, '+
                             ' abort (b), quit','a','z');
    case character of
        'A' : begin
            SendCommandSequence(16,13,5,3,4);  {Camac trigger}
            Execute(DataAccepted);
            Warning(DataAccepted,' ');
            SendCommandSequence(18,6,5,0,3);  {verify setup}
            Execute(DataAccepted);
            Warning(DataAccepted,' ');
            wait(100);

            SendCommandSequence(9,0,5,0,3);      {arm}
        end
    end
end;
```

```
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ')
    end;
    'T' : begin
        SendCommandSequence(25,0,5,0,3); {trigger}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ')
    end;
    'R' : begin
        SendCommandSequence(9,1,5,0,3); {reset}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ');
        Wait(600)
    end;
    'S' : begin
        SendCommandSequence(16,13,5,1,4); {trigger source ch1}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ');
        SendCommandSequence(18,6,5,0,3); {verify setup}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ');
        wait(100);
        SendCommandSequence(9,0,5,0,3); {arm and trigger}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ')
    end;
    'B' : begin
        SendCommandSequence(25,1,5,0,3); {abort}
        Execute(DataAccepted);
        Warning(DataAccepted, ' ')
    end;
    'Q' : quit:=true;
    otherwise {null}
end;
until quit;
quit:=false
end;

{-----}
{---reading of recorder samples in 2-byte high ---}
{---speed block mode ---}
{-----}

procedure ReadRecorder(var DataAccepted : ReturnMessage;
                      var channel,segment : ASCIIdecimal);

type
  mode = (FHS,DMA);

var
  i,t,TimeZero,TimeOne,TimeExp,TimeChar : integer;
```

```
CharInBuffer,AmountOfBytes,
AmountOf64KTransfers,Rest           : Blocktype;
txtbuffer,txttime                  : CommandText;
Transfermode                      : mode;

begin
  buffer_reset(buffer);
  CharInBuffer:=Buffer_Data(buffer);
  txtbuffer:=' ';
  strwrite(txtbuffer,1,t,CharInBuffer:1);
  report('data in buffer '+txtbuffer+' characters');

  channel:=queryfor_int('which channel',1,4,1);
  segment:=queryfor_int('which segment',0,255,1);
  if Queryfor_YesNo('fast handshake- (Y) or DMA-transfer')
    then Transfermode:=FHS
    else Transfermode:=DMA;

  SendByteDecimal(106);      {set interface to 16 bit high speed }
  {                                block transfer mode }
  SendCommandSequence(18,channel,5,segment,4); {prepare to read}
  execute(DataAccepted);
  warning(DataAccepted,' ');
  wait(40);

try
  SendCommandSequence(2,0,5,0,3);      {f(2) a(0) - read data}
  {'execute' of f(2)a(0) done by transfer; databytes, status- }
  {and zero byte are read}

  if Transfermode = FHS then
  begin
    {Fast handshake transfer - proceed until EOI detected}
    report('fast handshake transfer...');
    {*} TimeZero:=SysClock;
    transfer_end(selector,serial_FHS,to_memory,buffer);
    {*} TimeOne:=SysClock
  end
  else
  begin
    {DMA-transfer - transfer blocksize cannot exceed 64KBytes}
    {
      so transfer is broken down}
    {
      note: HP 98620B DMA must be present}
    report('DMA transfer...');
    {*} TimeZero:=SysClock;
    AmountOfBytes:= 3 + 2048*round(exp( settings6810[27,4]*ln(2) ));
    {i.e. trailerbytes plus segmentsize in bytes}
    AmountOf64KTransfers:=AmountOfBytes div 65534;
    Rest:=AmountOfBytes mod 65534;
    for i:=1 to AmountOf64KTransfers do
    begin
```

```
transfer(selector,serial_DMA,to_memory,buffer,65534);
  {if a transfer is invoked for the second time during an }
  {f(2)a(0)-reading of a segment two bytes are lost (as a }
  {result of TALK in 'transfer', which acts as an 'exe- }
  {cute' on CAMAC); missing bytes are replaced by dummies }
  writebuffer(buffer,chr(8));
  writebuffer(buffer,chr(0)) {2048 is 0 after DC-restoration}
end;
transfer_end(selector,serial_FHS,to_memory,buffer);
(*) TimeOne:=SysClock
end;
recover
begin
  RunTimeError;
  Abort_Transfer(Buffer);
  Wait(3000)
end;
untalk(HPIB);

{check timing and amount of bytes read}
CharInBuffer:=Buffer_Data(buffer);
TimeExp:=TimeOne-TimeZero; {centiseconds}
TimeChar:=round(CharInBuffer/TimeExp/10); {Number of Kbytes per second}
txttime:=' ';
strwrite(txttime,1,t,TimeChar:1);
txtbuffer:=' ';
strwrite(txtbuffer,1,t,CharInBuffer:1);

SendByteDecimal(settings8901A[2]); {back to default transfer mode}
DataAccepted:=txtbuffer+' bytes read ('+txttime+' Kb/s)'
end;

{-----}
{---read specified section of 2Mb buffer into ---}
{---array of 1024 points ---}
{-----}

procedure BufferRead(section : sectiotype);

var
  i : integer;

begin
  DataAccepted:=' ';
  arr:=buffer.buf_empty;
  for i:=0 to 1023 do {read buffer and restore DC-level}
    data[i]:=arr^.arr[i + 1024*(section - 1)] - 2048
end;

{-----}
{---display data in sections of 1024 points using ---}
```

```
{---VIDIS plot routines ---}
{-----}

procedure display(var DataAccepted : ReturnMessage;
                   channel,segment : ASCIIdecimal);

var
  t           : integer;
  txt1,txt2,
  txt3,txt4   : CommandText;
  lp          : text;
  stre        : array[1..4] of integer;
  section     : sectiontype;
  NumberOfBytes,
  NumberOfIntegers : BlockType;

begin
  NumberOfBytes:=Buffer_Data(buffer); {samples + status and zero byte}
  if NumberOfBytes = 0 then
    begin
      DataAccepted:='error - buffer empty';
      Warning(DataAccepted,' ')
    end;

  NumberOfIntegers:=NumberOfBytes div 2;
  section:=queryfor_int('Which section',1,NumberOfIntegers div 1024,1);
  BufferRead(section);
  Warning(DataAccepted,' ');

  clear_all;
  rewrite(lp,'PRINTER:');
  txt1:=' ';
  strwrite(txt1,1,t,blocksize:1);
  report('plotting '+txt1+' points of data...');
  txt1:=' ';
  txt2:=' ';
  txt3:=' ';
  txt4:=' ';
  strwrite(txt1,1,t,section:1);
  strwrite(txt2,1,t,((NumberOfBytes div 2) div 1024):1);
  strwrite(txt3,1,t,channel:1);
  strwrite(txt4,1,t,segment:1);

  stre[1]:=data[  0]; {store true values of begin- and endpoints}
  stre[2]:=data[  1];
  stre[3]:=data[ 1022];
  stre[4]:=data[ 1023];
  data[  0]:=-2048; {disable autoscale in VIDIS-plotroutine}
  data[  1]:=0;
  data[1022]:=0;
  data[1023]:=-2048;
```

```
plot_one(p2,true,false,'6810 waveform recorder channel '+txt3+
         ' segment '+txt4+' section '+txt1+' of '+txt2,data);
report(' ');
if queryfor_yesno('hardcopy') then
  plot_one(p1,true,true,'6810 waveform recorder           section '+
            txt1+' of '+txt2,data);
if queryfor_yesno('print data') then
begin
  data[  0 ]:=stre[1]; {recall true values}
  data[  1 ]:=stre[2];
  data[1022]:=stre[3];
  data[1023]:=stre[4];
  writeln(lp);
  writeln(lp,'section '+txt1+' of '+txt2);
  for t:=0 to 20 do
    writeln(lp,t:5,'  => ',data[t]:5,
           t+1003:5,'  => ',data[t+1003]:5);
end;
close(lp);
DataAccepted:=' ';
end;

{-----}
{---read/display menu               ---}
{-----}

procedure ReadData;

begin
repeat
  character:=queryfor_char('read from recorder,'+
                           ' display on VIDIS, quit','a','z');
  case character of
    'R' : ReadRecorder(DataAccepted,channel,segment);
    'D' : Display(DataAccepted,channel,segment);
    'Q' : quit:=true;
    otherwise {null}
  end;
  report(DataAccepted)
until quit;
quit:=false
end;

{-----}
{---main menu                      ---}
{-----}

begin
  initialize;
repeat
  try
```

UNCLASSIFIED

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER
TD91-2909	-	FEL-91-A161
4. PROJECT/TASKWORK UNIT NO.	5. CONTRACT NUMBER	6. REPORT DATE
20376	A87KL158	SEPTEMBER 1991
7. NUMBER OF PAGES	8. NUMBER OF REFERENCES	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED
56 (INCL RDP & 4 APPENDICES, EXCL DISTRIBUTION LIST)	11	FINAL REPORT
10. TITLE AND SUBTITLE OPBOUW EN WERKING VAN EEN MULTIFUNCTIE CO ₂ -LASERRADARSYSTEEM (CONSTRUCTION AND FUNCTION OF A MULTIFUNCTION CO ₂ -LASER SYSTEM)		
11. AUTHOR(S) R.J.L. LEROU P.H.C. BENTVELSEN		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY, P.O. BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE Oude Waalsdorperweg 63, THE HAGUE, THE NETHERLANDS		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) ROYAL NETHERLANDS ARMY		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS) A DESCRIPTION IS GIVEN OF A MULTIFUNCTION LASER SYSTEM DESIGNED FOR APPLICATIONS SUCH AS RANGE- AND VELOCITY MEASUREMENTS, VIBRATION DETECTION AND ACTIVE IMAGING. THE SYSTEM IS BASED ON A WAVE GUIDE CO ₂ -LASER OPERATING IN A CONTINUOUS MODE. THE RECEIVED RADIATION IS DETECTED BY AN OPTICAL HETERODYNE DETECTION TECHNIQUE. EXAMPLES OF THE RESULTS OF RANGE-, VELOCITY- AND VIBRATION MEASUREMENTS WITH THE LASER SYSTEM ARE SHOWN AND DISCUSSED. THE LASER BEAM IS MODULATED WITH AN MULLARD 100A ACOUSTO-OPTICAL MODULATOR IN A FREQUENCY BAND OF 90-110 MHZ. THE PROPERTIES OF THIS MODULATOR HAS BEEN DETERMINED. A DIGITAL INTEGRATOR, DESIGNED AND BUILT FOR PERIODIC AND SYNCHRONOUS SIGNALS IS DESCRIBED. IT IS DESIGNED TO INTEGRATE A LARGE NUMBER OF PERIODS AND IS CAPABLE OF SAMPLING AT A FREQUENCY OF 42 MHZ, WITH DIGITAL CONVERSION TO 8 BIT. THE INCREASE OF THE SIGNAL TO NOISE RATIO WITH THE NUMBER OF INTEGRATIONS IS DESCRIBED. THE SPECIALLY DESIGNED ELECTRONIC TRANSMITTER/RECEIVER UNIT OF THE SYSTEM AND A WAVEFORM RECORDER, INCLUDING CONTROL SOFTWARE, IS BRIEFLY DISCUSSED.		
16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS	
CO ₂ -LASERS LASER RADAR (LIDAR) INFRARED RADIATION DETECTION	HETERODYNE DETECTION ACOUSTO-OPTICAL MODULATION DIGITAL INTEGRATION VIBRATION DETECTION	
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) UNCLASSIFIED	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) UNCLASSIFIED	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) UNCLASSIFIED
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT UNLIMITED	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLE) UNCLASSIFIED	

UNCLASSIFIED

Distributielijst

1. Hoofddirecteur TNO-Defensieonderzoek
2. Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling
3. HWO-KL
- 4.
- t/m HWO-KLu
- 5.
6. HWO-KM
- 7.
- t/m Hoofd TDCK
- 9.
10. DMKL/OMAT/KIO, t.a.v. ing. A.A.M. Aarssen
11. Directie FEL-TNO, t.a.v. ir. P. Spohr
12. Directie FEL-TNO, t.a.v. dr. J.W. Maas, daarna reserve
13. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan prof. ir. C. van Schooneveld
14. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan drs. C.W. Lamberts
15. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan drs. R.J.L. Lerou
16. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan dr. A.M.J. van Eijk
17. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan ing. F.J.M. van putten
18. Archief FEL-TNO, in bruikleen aan ing. H.E.R. Boetz
19. Documentatie FEL-TNO
- 20.
- t/m Reserves
- 22.

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst staan, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of, indien het een K-opdracht betreft, bij de Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling.